

CONTROLO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM – ESTUDO DE BACIA PILOTO

Manuel Alexandre Martins Baptista

**Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Construção
Dissertação**

ORIENTADORES: Doutora Rita Salgado Brito
Doutor Nelson Jorge Gaudêncio Carriço

setembro de 2016

Dissertação submetida no Instituto Politécnico de Setúbal

CONTROLO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM – ESTUDO DE BACIA PILOTO

Mestrado em Engenharia Civil

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DO TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Manuel Alexandre Martins Baptista

(assinatura)

DIREITOS DE CÓPIA OU COPYRIGHT

© **Copyright:** Manuel Alexandre Martins Baptista

O Instituto Politécnico de Setúbal tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação marca o final de uma etapa da minha vida que em muito contribuiu o apoio de várias pessoas e entidades a quem manifesto um grande agradecimento.

Gostaria de expressar o meu agradecimento aos orientadores da presente dissertação, Eng.^a Rita Brito e Eng.^o Nelson Carriço, pela disponibilidade dada em todo o desenvolver do trabalho, pelo seu apoio e pelas críticas/ sugestões que em muito ajudaram à finalização da mesma.

A cooperação da Câmara Municipal do Barreiro, nomeadamente às Engenheiras Rita Isidro e Manuela Sobral pelos dados disponibilizados relativos à bacia piloto e ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) pela cedência dos dados de precipitação, os quais possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos meus amigos que foram a base de todo este trajeto, em particular aos meus parceiros de mestrado Nuno Martins, Luís Crato, Gonçalo Gaspar, Raquel Labaredas e Ana Conceição.

Finalmente, um agradecimento especial à minha família, sobretudo aos meus pais que possibilitaram o início desta minha vida académica e sempre foram um grande pilar, apoiando sempre as minhas decisões.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

As afluições indevidas têm interferência no desempenho dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais, sendo uma causa importante para a deterioração do desempenho funcional dos mesmos e para a ocorrência de descargas de águas residuais domésticas não tratadas para o meio hídrico. Na maioria dos casos desconhece-se a sua real dimensão e localização. As afluições indevidas são um tema com bastante relevância para as entidades gestoras dos sistemas urbanos de água, uma vez que tem impactos muito relevantes, como por exemplo o funcionamento hidráulico, a redução do desempenho ambiental, custos financeiros, entre outros.

Para avaliação das afluições indevidas é necessário um conhecimento detalhado da rede e o diagnóstico dos principais problemas, nomeadamente, quais os tipos de afluições indevidas, qual a magnitude da sua ocorrência e quais os locais onde os impactos são mais relevantes.

A presente dissertação de mestrado consiste em identificar as afluições indevidas existentes numa bacia piloto do município do Barreiro, avaliar a sua magnitude e identificar as zonas de atuação prioritária de forma a reduzir o seu impacto. Para o efeito, foi seguida uma metodologia que se baseia em modelação matemática e avaliação de desempenho

PALAVRAS-CHAVE: Afluições indevidas, águas residuais domésticas e pluviais, bacia piloto, sistemas de drenagem de águas, SWMM.

ABSTRACT

Rainfall-derived infiltration and inflow (RDII) can interfere with the performance of domestic wastewater drainage and rainwater systems. It is also a major cause for the deterioration of the functional performance of those drainage systems and for the occurrence of untreated discharges of domestic wastewater to the water environment. In most cases, the actual magnitude and location of these inflows are unknown.

This issue is quite relevant to the management utilities of urban water systems, since it has very significant impacts such as in hydraulic operation, in the reduction of environmental performance, in financial costs, among others.

The assessment of RDII requires a detailed knowledge of the network and a previous diagnosis of its major problems, namely, the type of inflows, the magnitude of their occurrence and the location where impacts are most relevant.

The aim of this master thesis was the identification of rainfall-derived infiltration and inflow (RDII) in a pilot basin in the Municipality of Barreiro. It is important to assess its magnitude and identify priority intervention actions in order to reduce its impact. To achieve the thesis objectives, a methodology that relies on hydraulic modelling and performance assessment was followed.

KEYWORDS: Domestic wastewater and rainwater, pilot basin, rainfall-derived infiltration and inflow, SWMM, water drainage systems.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS	3
2.2. AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	4
2.2.1. TIPOS DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS	4
2.2.2. IMPACTOS NEGATIVOS DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS	5
2.3. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.....	6
2.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	6
2.3.2. INSPEÇÃO E MONITORIZAÇÃO	6
Monitorização de caudais e de precipitação	6
Inspeção visual	7
Testes de fumo	8
Testes com traçadores	9
Ensaio de estanquidade.....	9
Questionários a residentes	10
Inspeção e monitorização dos pontos de descarga	10
2.3.3. Modelação matemática do funcionamento hidráulico.....	11
2.4. DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	14
2.4.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	14
2.4.2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO REGULAMENTARES	15
2.4.3. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	16
3. METODOLOGIA	19
3.1. INTRODUÇÃO	19
3.2. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	20
3.3. ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO	20
3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	20
3.3.2. INFORMAÇÃO NECESSÁRIA PARA A AVALIAÇÃO DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS	22
Dados de cadastro.....	22

Levantamento de dados populacionais	22
Recolha de dados hidráulicos	23
Modelação em tempo seco	23
Calibração	24
Simulação de diferentes cenários de eventos de precipitação	25
3.3.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA	26
Crítérios regulamentares e indicadores de desempenho	26
Componentes em avaliação - Avaliação integral.....	27
Componentes em avaliação - Avaliação por bacias hidrográficas.....	28
3.4. ELABORAÇÃO E CONTROLO DO PLANO	28
4. CASO DE ESTUDO	29
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO	29
4.1.1. SISTEMA DE DRENAGEM.....	29
4.1.2. OCUPAÇÃO POPULACIONAL.....	30
4.1.3. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DA QUINTA DA MINA.....	31
4.2. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA	33
4.2.1. SISTEMA AQUÍFERO DA BACIA DO TEJO-SADO	33
4.2.2. ESTIMATIVA DE CAUDAL DE ÁGUA RESIDUAL AFLUENTE	34
4.2.3. MEDIÇÕES DE CAUDAL NO COLETOR A JUSANTE	34
4.2.4. DADOS DE PRECIPITAÇÃO	39
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	41
5.1. MODELAÇÃO HIDRÁULICA	41
5.1.1. CONSTRUÇÃO DO MODELO EM TEMPO SECO.....	41
5.1.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO.....	42
5.1.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO EM TEMPO DE CHUVA	46
5.2. DIAGNÓSTICO DO SISTEMA	48
5.2.1. RESULTADOS EM TEMPO SECO	48
5.2.2. RESULTADOS EM TEMPO DE CHUVA	51
5.2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO.....	55
6. Síntese e conclusões.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
PUBLICAÇÕES	67
SÍTIOS ELETRÓNICOS.....	69
Anexo A.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de situações de descarga de caudais não tratados (Almeida e Cardoso, 2010).....	6
Figura 2 - Sistema para medição de pressão, altura da água e velocidade (http://www.contimetra.com/ e https://www.nivus.com/en/ , consultado em 17 de setembro de 2016).....	7
Figura 3 - Exemplos de anomalias detetadas por inspeção visual (Almeida e Cardoso, 2010)	8
Figura 4 – Aplicação de teste de fumo (http://www.darrscleaning.com , consultado em 25 de setembro de 2016)	8
Figura 5 - Exemplo de uso de traçadores para identificação do local de ligação de ramal: traçador (esquerda) e condutivímetro (direita) (Almeida e Cardoso, 2010)	9
Figura 6 – Ensaio de estanquidade com água (http://www.blogplastics.com , consultado em 25 de setembro de 2016)	10
Figura 7 – Metodologia GPI	19
Figura 8 - Fluxograma da metodologia aplicada para a modelação hidráulica.....	21
Figura 9 - Fluxograma para a metodologia da avaliação de desempenho	22
Figura 10 - Sistema e subsistemas do Barreiro (CMB, 2013)	29
Figura 11 - Vista geral da Cidade-Sol (Google Earth)	31
Figura 12 - Localização da estação elevatória (Google Earth)	32
Figura 13 - Zona envolvente da estação elevatória.....	32
Figura 14 - Câmara de acesso à grade de limpeza manual e ao poço de bombagem	33
Figura 15 - Esquema do subsistema do Barreiro/ Moita (SIMARSUL)	35
Figura 16 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de agosto de 2014.....	36
Figura 17 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de novembro de 2014.....	36
Figura 18 - Caudal máximo, médio e mínimo diário dos meses de agosto e novembro de 2014.....	37
Figura 19 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de agosto de 2015.....	37
Figura 20 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de novembro de 2015.....	38
Figura 21 - Comparação dos caudais máximo, médio e mínimo diário dos meses de agosto de 2014 e 2015.....	38
Figura 22 - Comparação dos caudais máximo, médio e mínimo diário dos meses de novembro 2014 e 2015	39

Figura 23 - Precipitação medida no udómetro nos meses de junho a dezembro de 2014.	40
Figura 24 - Padrão diário de tempo seco.....	42
Figura 25 – Curva característica da bomba.....	43
Figura 26 - Rede de saneamento em estudo	44
Figura 27 - Comparação de valores de caudal simulado e nos dias em estudo ao longo do dia	45
Figura 28 - Sistema modelado em tempo de chuva	47
Figura 29 - Planta da rede em estudo com identificação dos troços que possuem comprimento superior a 60m.....	49
Figura 30 - Planta da rede em estudo com identificação dos troços que possuem inclinações indevidas máximas ou mínimas	50
Figura 31 - Caudal simulado (Qtc) e precipitação no Dia1, e caudal de tempo seco (Qts)	52
Figura 32 - Caudal simulado (Qtc) e precipitação no Dia 2, e caudal de tempo seco (Qts)	53
Figura 33 - Caudal simulado (Qtc) e precipitação no Dia 3, e caudal de tempo seco (Qts)	53
Figura 34 - Troço com maior valor de ID1	56
Figura 35 - Troços com ID2 superior a 100%	57
Figura 36 - Percentagem de troços com prioridade baixa, média e alta em ID2 (para tempo seco)	58
Figura 37 - Troços com ID3 superior a 20%	59
Figura 38 - Troços com prioridade alta e baixa relativamente ao ID4.....	60
Figura 39 - Zonas com prioridade alta na rede em estudo para o cenário C23.....	62
Figura 40 - Zona da rede em estudo com índices de valor alto mais frequente para os vários ID em estudo	64
Figura 41 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 09-03-2015 ao longo do dia	71
Figura 42 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 20-07-2015 ao longo do dia	72
Figura 43 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 20-08-2015 ao longo do dia	72
Figura 44 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 21-09-2015 ao longo do dia	73
Figura 45 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 27-10-2015 ao longo do dia	73

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros recomendados para a detecção de ligações indevidas a coletores (Almeida e Cardoso, 2010)	11
Quadro 2 - Limites regulamentares de acordo com o DR n.º 23/ 95.....	15
Quadro 3 - Indicadores de desempenho para a infiltração (Almeida e Cardoso, 2010)	26
Quadro 4 – Indicadores de desempenho para afluições indevidas à rede doméstica de origem pluvial	27
Quadro 5 - Sistema e subsistemas do Concelho do Barreiro.....	30
Quadro 6 - Erros volumétricos referentes aos dias de tempo seco	46
Quadro 7 - Características das sub-bacias em estudo.....	47
Quadro 8 - Características dos eventos de precipitação.....	48
Quadro 9 - Características do sistema em estudo.....	48
Quadro 10 – Percentagem de componentes que cumprem cada característica física regulamentar	49
Quadro 11 - Resultados da zona em estudo em tempo seco	50
Quadro 12 - Percentagem de cumprimento dos limites regulamentares da zona em estudo em tempo seco	51
Quadro 13 - Características dos eventos de precipitação ocorridos nos três dias selecionados.....	51
Quadro 14 – Área contributiva de cada sub-bacia, em cada cenário.....	52
Quadro 15 - Identificação dos cenários de tempo de chuva	52
Quadro 16 - Resultados de v_{min} , $v_{máx}$ e h/D máx relativos aos diferentes cenários de tempo de chuva	54
Quadro 17 – Câmaras de visita e coletores em carga e respetivas durações máximas	55
Quadro 18 - Valores mínimo, média e máximo do ID1 para os troços em estudo	56
Quadro 19 - Valores mínimo, máximo e média do ID3 para os troços em estudo	58
Quadro 20 - Valores do fator de ponta e ID4 para cada sub-bacia.....	60
Quadro 35 - Valores mínimo, máximo e média dos troços calculados para o ID5	61
Quadro 21 – Percentagem dos troços com diferentes níveis de prioridade para o ID6, em cada cenário	61
Quadro 22 - Valores mínimos, médias e máximos do ID7 em cada cenário	63

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ARD – Águas Residuais Domésticas

BH – Bacias Hidrográficas

C – Capitação média de águas residuais [$\text{m}^3/\text{hab.dia}$]

CCTV - Closed Circuit TV

CMB – Câmara Municipal do Barreiro

CS – Cota de Soleira [m]

CSJ – Cota de Soleira a Jusante [m]

CSM – Cota de Soleira a Montante [m]

CT – Cota do Terreno [m]

DN – Diâmetro Nominal [m]

EE – Estação Elevatória

EPA - Environmental Protection Agency

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ERSARA - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores

GR – Grês

IWA - International Water Association

k – Fator de afluência

L_{coletor} – Comprimento total de coletor a montante do ponto de medição [km]

PVC – Policloreto de Vinilo

Q_{max_d} – Caudal máximo diário [m^3/s]

$Q_{\text{max}_{\text{dts}}}$ – Caudal máximo diário de tempo seco [m^3/s]

$Q_{\text{max}_{\text{tc}}}$ – Caudal máximo ocorrido no evento de precipitação [m^3/s]

$Q_{\text{max}_{\text{ts}}}$ – Caudal máximo observado em tempo seco [m^3/s]

Q_{med} – Caudal médio [m^3/s]

Q_{med_d} – Caudal médio diário [m^3/s]

$Q_{med_{dts}}$ – Caudal médio diário de tempo seco [m^3/s]

Q_{min_d} – Caudal mínimo diário [m^3/s]

$Q_{min_{dts}}$ – Caudal mínimo diário de tempo seco [m^3/s]

Q_{mts} – Caudal médio de tempo seco [m^3/s]

$Q_{o,i}$ – Caudal observado no instante de cálculo i [m^3/s]

$Q_{s,i}$ – Caudal simulado no instante de cálculo i [m^3/s]

Q_{sc} – Caudal de secção cheia [m^3/s]

SWMM - Storm Water Management Model

V_{tc} – Volume total de água no evento de precipitação [m^3]

V_{mts} – Volume médio de águas residuais de tempo seco [m^3]

V_{pu} – Volume de precipitação útil na bacia [m^3]

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Entende-se por afluência indevida, no contexto dos sistemas de drenagem urbana, qualquer entrada de caudal no sistema que, pela sua quantidade ou pela sua matriz de qualidade da água, compromete o funcionamento do sistema.

Embora seja admissível a existência de algumas afluências indevidas e não sendo possível atuar na sua total erradicação, em muitos sistemas é recomendável e até impreterível atuar em face das consequências mais evidentes da sua existência (Almeida e Cardoso, 2010). O controlo das afluências indevidas passa pela identificação de áreas prioritárias de intervenção.

As afluências indevidas às redes de drenagem de águas residuais são frequentemente significativas, principalmente após fortes chuvadas. Os mecanismos que contribuem para essas afluências são diversos, e podem incluir, entre outros, a entrada através das tampas e do corpo das câmaras de visita e de ramais de ligação, da inserção de tubagem nos coletores, de roturas nas tubagens e de ligações indevidas de águas pluviais.

Existem diversos tipos de afluências indevidas, como por exemplo, afluências de pluviais retardadas, resultantes da infiltração através do solo a pequena profundidade e entrada através de anomalias dos componentes (e.g., fissuras, juntas sem vedação), afluências da rede natural de drenagem através da entrada de caudal pelos coletores de descarga não providos de válvula antirretorno (e.g., válvula de maré ou bico de pato) ou afluências de águas residuais domésticas, derivadas da ligação de ramais domésticos de edificações ou outras instalações.

As afluências indevidas são um tema com bastante relevância para as entidades gestoras dos sistemas urbanos de água, uma vez que têm impactos muito relevantes, como por exemplo sobrecarga hidráulica, aumento do caudal afluente às estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e aumentos dos custos de exploração.

Para uma adequada avaliação das afluências indevidas, é necessário ter um conhecimento detalhado do sistema e realizar o respetivo diagnóstico, identificando-se os principais problemas, nomeadamente, quais os tipos de afluências indevidas, qual a magnitude da sua ocorrência e quais os locais onde os impactos são mais relevantes.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado tem como objetivo principal identificar afluências indevidas numa bacia piloto do município do Barreiro, mais concretamente no Vale do Trabuco – Cidade Sol, avaliando a sua magnitude e identificando as zonas de atuação prioritária de forma a minimizar o seu impacto. Esta bacia piloto foi identificada pela Câmara Municipal do Barreiro (CMB) tendo por base estudos de avaliação global dos sistemas de drenagem realizados pela entidade no âmbito do “Plano de Controlo de Afluências Indevidas”. Para a realização do presente trabalho a CMB facultou os dados de cadastro do sistema e os caudais de água residual medidos num coletor a jusante da bacia piloto. Os dados de precipitação necessários para a realização deste trabalho foram cedidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo sido recolhidos num udómetro localizado no município do Seixal.

Para alcançar o objetivo proposto, seguiu-se uma metodologia baseada na avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana que se desenvolveu ao longo das seguintes fases:

- Revisão bibliográfica nos domínios das afluências indevidas, da modelação hidráulica e da avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana;
- Caracterização do caso de estudo;
- Modelação hidráulica do caso de estudo;
- Avaliação de desempenho do caso de estudo.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, apresentando-se no final as referências bibliográficas e os anexos.

No presente capítulo introdutório, apresenta-se o enquadramento do tema, os objetivos definidos para a realização deste trabalho e a estrutura seguida para a sua concretização. Após o capítulo introdutório, no Capítulo 2, faz-se a revisão bibliográfica, na qual se classificam os tipos de sistemas de drenagem urbana, apresenta-se o conceito de afluências indevidas em sistemas de drenagem urbana, abordando-se os diferentes tipos de afluências indevidas e os respetivos impactos negativos. Posteriormente, desenvolvem-se os conceitos de diagnóstico e avaliação do desempenho em sistemas de drenagem urbana, com enfoque nas afluências indevidas. No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada na presente dissertação de mestrado para avaliar afluências indevidas em sistemas de drenagem urbana. No Capítulo 4 apresenta-se a caracterização física da bacia piloto, faz-se uma súmula da informação existente, nomeadamente, dos dados de precipitação e de caudal. No Capítulo 5 apresenta-se a aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 3 à bacia piloto caracterizada no Capítulo 4, discutindo os resultados obtidos. Finalmente, no último capítulo, fazem-se as considerações finais apresentando-se as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS

Os sistemas de drenagem urbanos subdividem-se em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Domésticas (SDARD) e Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Pluviais (SDARP). Os SDARD têm como objetivo o transporte das águas residuais domésticas/industriais desde os pontos onde são produzidas até às respetivas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Os SDARP têm como objetivo o transporte das águas residuais pluviais desde os locais onde o escoamento superficial gerado pela precipitação foi captado até às linhas de água onde possam ser descarregadas de forma segura. Desta forma, é habitual classificarem-se as águas residuais segundo a sua origem e características em águas residuais domésticas (ARD), águas residuais industriais (ARI) e águas residuais pluviais (ARP).

Designam-se por **águas residuais domésticas** as provenientes de cozinhas, instalações sanitárias e zonas de lavagem de roupas. São caracterizadas por conterem quantidades muito significativas de matéria orgânica, facilmente biodegradável, e manterem relativa constância das suas características no tempo. As **águas residuais industriais** são provenientes da atividade industrial, caracterizando-se por conterem compostos físicos e químicos diversos, que dependem não só do tipo de indústria, mas também dos processos de fabrico, podendo também apresentar grande variabilidade das suas características no tempo. **Águas residuais pluviais** são aquelas que resultam principalmente da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes. As águas provenientes da rega de jardins, lavagem de arruamentos, pátios, entre outros, que também podem ser recolhidas pelas sarjetas ou sumidouros, podem ser equiparadas a águas pluviais. As águas residuais pluviais caracterizam-se por conterem, em geral, menores quantidades de matéria poluente, em particular de origem orgânica, comparativamente às residuais domésticas e industriais.

De acordo com o artigo 116º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, os sistemas de drenagem classificam-se por:

- **separativos**, constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;
- **unitários**, constituídos por uma única rede de coletores, na qual são admitidas simultaneamente águas residuais domésticas, industriais e pluviais;
- **mistos**, constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo;
- **separativos parciais ou pseudo-separativos**, onde, em condições excecionais, se admite a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas.

2.2. AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

2.2.1. TIPOS DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Dependendo do tipo de sistema existente, podem identificar-se diferentes tipos de afluências indevidas, que se apresentam em seguida.

Nos **sistemas unitários**, as afluências indevidas incluem (Almeida e Cardoso, 2010):

- afluências de águas residuais industriais com características inadequadas ou não autorizadas, por não cumprimento do disposto na licença de descarga, por falta de pré-tratamento adequado ou por falta de licenciamento;
- afluências excessivas de caudais pluviais, devido a expansão de zonas urbanas ou de ligação de drenagem de redes viárias ou outras, excedendo a capacidade dos coletores unitários;
- afluências de pluviais retardadas, resultantes da infiltração através do solo a pequena profundidade e entrada através de anomalias dos componentes (e.g., fissuras, juntas sem vedação);
- infiltração com origem em águas subterrâneas através de anomalias dos componentes (e.g. fissuras, juntas sem vedação), em virtude de os coletores estarem assentes abaixo do nível freático, sendo que a infiltração apresentará flutuações consoante a variação sazonal do nível freático.

Nos **sistemas separativos domésticos**, as afluências indevidas incluem (Almeida e Cardoso, 2010):

- afluências de pluviais diretas, resultantes de ligação ilícita de ramais pluviais de edificações ou outras instalações, de ligação indevida de ramais de sumidouros, por falta de estanquidade de componentes do sistema (e.g., tampas de câmaras de visita), ligação de coletores pluviais a sistemas domésticos ou interligação entre as redes pluviais e domésticas;
- afluências de pluviais retardadas, resultantes da infiltração através do solo a pequena profundidade e entrada através de anomalias dos componentes (e.g., fissuras, juntas sem vedação);
- afluências da rede natural de drenagem através da entrada de caudal pelos coletores de descarga não providos de válvula antirretorno (e.g., válvula de maré ou bico de pato);
- afluências de água devido a fugas de redes de distribuição de água, drenagem de caves, etc.;
- infiltração com origem em águas subterrâneas através de anomalias dos componentes (e.g., fissuras, juntas sem vedação), devido aos coletores estarem assentes abaixo do nível freático, uma vez que a infiltração apresentará flutuações consoante a variação sazonal do nível freático;
- afluências de águas residuais industriais com características inadequadas ou não autorizadas, por incumprimento do disposto na licença de descarga, por falta de pré-tratamento adequado ou por falta de licenciamento.

Nos **sistemas separativos pluviais**, as afluências indevidas incluem (Almeida e Cardoso, 2010):

- afluências de águas residuais domésticas, derivado de ligação de ramais domésticos de edificações ou outras instalações;
- afluências de águas residuais industriais, resultantes de ligação indevida dos coletores ou ramais de indústrias.

2.2.2. IMPACTOS NEGATIVOS DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

As afluências indevidas aos sistemas de águas residuais e pluviais podem resultar em reduções significativas do desempenho, tanto nas redes de coletores como nas estações de tratamento de águas residuais, com o consequente impacto negativo nos meios recetores.

O impacto provocado pelas ligações indevidas nos sistemas separativos pluviais tem um efeito contínuo durante todo o ano, uma vez que a ligação ilícita de ramais domésticos e industriais a esta rede descarrega efluente diretamente para os meios recetores, e por isso, têm um impacto direto na qualidade das águas recetoras (Amorim, 2007).

As afluências indevidas têm vários impactos negativos, tais como (Almeida e Cardoso, 2010):

- redução do desempenho hidráulico dos sistemas de coletores, derivado do aumento excessivo dos caudais, podendo desta forma originar entrada em carga dos coletores e extravasamento dos sistemas, causando posteriormente descargas de caudais não tratados ou inundações;
- redução do desempenho ambiental, devido ao aumento das cargas poluentes descarregadas para os meios recetores (descarga de caudais não tratados por meio de *bypass* à ETAR ou existência de afluências residuais a sistemas separativos pluviais), a redução da eficiência dos processos de tratamento (e.g. derivado a efeitos de diluição da água residual ou por sobrecarga hidráulica da ETAR, podendo levar ao arrastamento de biomassa de tanques de arejamento) e a exfiltração de águas residuais ou unitárias através de anomalias dos componentes (e.g. fissuras, juntas não vedadas);
- degradação do desempenho estrutural, devido à deterioração dos sistemas e seus componentes;
- impactes socioeconómicos, quer no aumento dos custos de operação (e.g. devido ao aumento dos caudais bombeados e ao incremento dos volumes tratados) e de manutenção (e.g. por efeito de desgaste prematuro dos componentes), quer em termos de perturbação para as populações e atividades económicas.

Na Figura 1 apresenta-se exemplos de situações de descarga de caudais não tratados.



Figura 1 - Exemplos de situações de descarga de caudais não tratados (Almeida e Cardoso, 2010)

2.3. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

2.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O diagnóstico consiste na identificação das anomalias ou sinais que indiciam a existência de problemas no desempenho de um sistema de drenagem de água sob determinados pontos de vista considerados relevantes, nomeadamente, hidráulico, ambiental, estrutural e operacional (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010).

Nos sistemas de drenagem urbana, existem vários métodos que servem como apoio à identificação de causas e ao diagnóstico das afluências indevidas. Alguns deles poderão ser utilizados para diferentes escalas de análise, todavia outros só são viáveis em menor escala, como em bacias piloto (Almeida e Cardoso, 2010).

A maioria dos métodos para identificação de causas e apoio ao diagnóstico são exigentes em termos do tempo de aplicação e o seu custo é muito variável. A estratégia mais adequada passa, normalmente, pela utilização de diferentes métodos de forma complementar ao longo de um programa de diagnóstico (Almeida e Cardoso, 2010). Em seguida apresentam-se os principais métodos para a obtenção de dados que permitem a identificação de causas de afluências indevidas e apoiar o diagnóstico, que se podem estruturar em atividades de inspeção e monitorização e em modelação do comportamento do sistema.

2.3.2. INSPEÇÃO E MONITORIZAÇÃO

Monitorização de caudais e de precipitação

A monitorização de caudais pode ser executada com base em sistemas de medição permanentes ou temporários numa ou em mais seções dos sistemas de drenagem, de modo a quantificar a totalidade das afluências a cada seção. No caso de sistemas separativos, as medições devem ser realizadas de preferência em simultâneo nas redes doméstica e pluvial. Adicionalmente, deve ser realizada a medição da precipitação durante o período em que se efetua a monitorização dos caudais. A monitorização simultânea dos níveis freáticos pode

também ser útil. A utilização de um sistema de registo contínuo digital e a sincronização dos relógios dos equipamentos é particularmente relevante neste tipo de aplicações. A análise dos registos de caudal permite localizar a existência e a magnitude das afluências ao coletor pluvial em tempo seco e ao coletor doméstico por ocorrência de precipitação. O registo de caudais na rede doméstica em tempo seco permite caracterizar o padrão diário típico da bacia (Almeida e Cardoso, 2010).

Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de um sistema de medição de pressão, altura da água e velocidade.



Figura 2 - Sistema para medição de pressão, altura da água e velocidade (<http://www.contimetra.com/> e <https://www.nivus.com/en/>, consultado em 17 de setembro de 2016)

Quando se procede à monitorização de caudais e de precipitação é recomendável processar a informação obtida de modo a realizar a avaliação quantitativa da dimensão do problema e da causa predominante das afluências indevidas.

Inspeção visual

A inspeção visual, manual ou com recurso a CCTV (Closed Circuit TV), possibilita a identificação das ligações existentes a uma determinada câmara de visita ou coletor e ainda verificar a existência de infiltração ou potencial para a ocorrência de exfiltração¹. Permite também o levantamento da condição estrutural da rede em estudo. A inspeção pessoal de câmaras de visita a partir do exterior pode ser relativamente económica. A inspeção visual em coletores permite ainda verificar a existência de infiltração em ramais.

A inspeção, não sendo um método quantitativo, permite recolher informação sobre as causas e severidade de tipos de ocorrências, pelo que os resultados são muito úteis para o diagnóstico e para apoio à seleção das soluções de reabilitação (Almeida e Cardoso, 2010). Na Figura 3 apresentam-se exemplos de anomalias detetadas por inspeção visual.

¹ Por exfiltração designa-se a ocorrência de fugas de água residual para o solo e águas subterrâneas.



Figura 3 - Exemplos de anomalias detetadas por inspeção visual (Almeida e Cardoso, 2010)

Testes de fumo

Os testes de fumo consistem na colocação de grandes quantidades de fumo nas câmaras de visita, por norma em troços de coletor limitados até 300 metros, sendo feita a observação no exterior para despistar os locais de saída de fumo, sendo usual o registo das ocorrências por meio fotográfico. As seções de coletor devem ser isoladas com recurso a tampões insufláveis, balões ou sacos de areia. O fumo é gerado por bombas de fumo colocadas no interior do coletor com produção de fumo de 3 a 5 minutos. O fumo a utilizar deve ser frio, sem odor, sem óleo ou partículas e não deve apresentar perigo para a saúde pública. A população local deve ser informada previamente da realização destes testes (Almeida e Cardoso, 2010).

Estes testes permitem avaliar a existência de ligações indevidas (especialmente de sumidouros, de algerozes, de pátios e de outras áreas de drenagem) e, de modo mais limitado, locais onde ocorre infiltração nos coletores, se as fissuras ou outras anomalias tiverem dimensão significativa e o solo permitir a passagem do fumo.

Os testes de fumo são particularmente indicados para a localização exata de anomalias, sendo um método de aplicação simples e de baixo custo (Almeida e Cardoso, 2010). Na Figura 4 apresenta-se a título exemplificativo a aplicação de um teste de fumo.

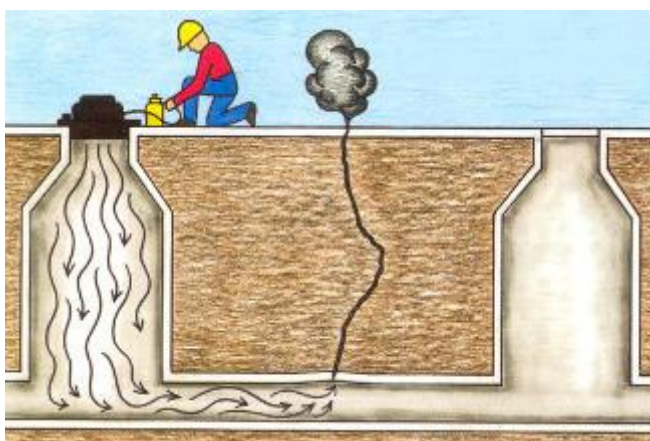


Figura 4 – Aplicação de teste de fumo (<http://www.darrscleaning.com>, consultado em 25 de setembro de 2016)

Testes com traçadores

Os testes com traçadores consistem na introdução de um traçador a montante na ligação que se suspeita estar indevidamente ligada e verificação do local onde aflui o caudal com o traçador. Existem vários tipos de traçadores com características químicas, radioativas ou físicas específicas. A seleção deve ser cuidada para evitar usar substâncias que possam originar poluição ou perigo para a saúde pública (Almeida e Cardoso, 2010).

À semelhança dos testes de fumos, os traçadores também são indicados para a localização exata de anomalias, sendo um método de aplicação simples e de baixo custo.

Na Figura 5 apresentam-se dois exemplos de uso de traçadores para identificação do local de ligação de ramal: traçador e condutivímetro, respetivamente.



Figura 5 - Exemplo de uso de traçadores para identificação do local de ligação de ramal: traçador (esquerda) e condutivímetro (direita) (Almeida e Cardoso, 2010)

Ensaios de estanquidade

Os ensaios de estanquidade podem ser efetuados com água, ar ou com vácuo. Estes ensaios permitem ter bons resultados para verificação da existência de infiltração e exfiltração, sendo mais frequentemente utilizados em sistemas novos antes da entrada em serviço.

Todavia, são ensaios demorados, trabalhosos e só são utilizados em último recurso para sistemas existentes (Gokhale e Graham, 2004, como referido em Almeida e Cardoso, 2010).

Na Figura 6 apresenta-se a título exemplificativo um ensaio de estanquidade com água.

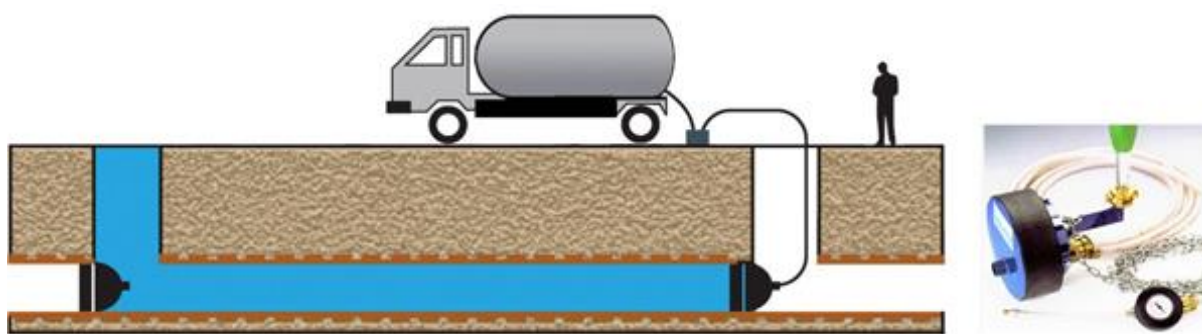


Figura 6 – Ensaio de estanquidade com água
(<http://www.blogplastics.com>, consultado em 25 de setembro de 2016)

Questionários a residentes

Normalmente os residentes e proprietários conhecem problemas que podem levar à identificação de afluências indevidas na rede. Um questionário bem formulado poderá fomentar informação relevante para o caso em estudo e levar a uma redução do tempo de trabalho e custos (Almeida e Cardoso, 2010).

Inspeção e monitorização dos pontos de descarga

A inspeção dos coletores de descarga nos meios recetores, eventualmente, complementada com amostragem, permite obter informação visual de grande utilidade de forma a despistar a existência de ligações indevidas em sistemas separativos pluviais e em descarregadores de tempestade de sistemas separativos domésticos ou unitários. Podem também ser detetados coletores de sistemas separativos domésticos ou unitários que ainda não estão direccionados para o tratamento (Almeida e Cardoso, 2010).

A identificação de descargas não tratadas nos meios recetores em coletores separativos pluviais pode ser eficiente se realizada em tempo seco. Esta inspeção também pode ser apenas visual ou complementada com amostragem do escoamento existente, eventualmente de origem subterrânea infiltrado nos coletores, para despistar a presença de substâncias ou micro-organismos relacionada com a presença de águas residuais.

Se for realizada apenas inspeção visual, deve ser registado, para cada local, a existência de caudal, a altura do escoamento, escoamento com odores, cor, turvação ou matéria flutuante.

No caso de se realizar amostragens do escoamento, os parâmetros recomendados para a deteção de ligações indevidas a coletores são os que se apresentam no Quadro 1 (Almeida e Cardoso, 2010).

Quadro 1 - Parâmetros recomendados para a deteção de ligações indevidas a coletores
(Almeida e Cardoso, 2010)

Parâmetro	Finalidade
Condutividade	▪ Utilizado como indicador de sólidos dissolvidos
Amónia	▪ Concentrações elevadas podem indicar presença de águas residuais
Surfactantes	▪ Indicador da presença de detergentes (originários de lavagens de roupa, veículos, etc.)
pH	▪ Valores muito elevados ou muito baixos podem derivar da existência de descargas de atividades comerciais ou industriais
Temperatura	▪ Em estação fria, temperaturas mais elevadas da água descarregada podem derivar de presença de águas de origem industrial ou doméstica
Cloro total	▪ Indicador de água de abastecimento (por exemplo, fugas de condutas), mas presença em águas naturais pode limitar o uso
Potássio	▪ Níveis elevados podem estar associados a águas residuais
Branqueadores óticos	▪ Indicador de presença de detergentes para a roupa
Bactérias (<i>E. coli</i> ou <i>E. enterococci</i>)	▪ Indicador de contaminação fecal e, portanto, de águas residuais

2.3.3. Modelação matemática do funcionamento hidráulico

A modelação matemática dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais pode ser de grande utilidade para o apoio e diagnóstico, para a seleção de medidas de intervenção e para o estabelecimento de metas.

Pode ser de bastante utilidade no caso de redes separativas domésticas ou de redes unitárias onde se pretenda reduzir o impacto das afluências derivadas da precipitação, sendo importante identificar as áreas de interceção de águas pluviais ligadas e aferir qual a redução desejável mínima compatível com o desempenho aceitável do sistema.

A modelação matemática pode ser realizada utilizando os dados de cadastro complementados com trabalho de campo, e tendo em conta a simulação de cenários representativos, tanto em tempo seco como em tempo de chuva.

Existem no mercado diversos modelos matemáticos de simulação do escoamento em sistemas de drenagem urbana que apresentam diferentes características de acordo com a aplicação pretendida, ou seja, para planeamento, projeto e operação, apoio à decisão, conceção de novos sistemas, manutenção e reparação (Figueiredo, 2014).

O modelo matemático de simulação de sistemas de drenagem urbana é constituído, na sua maioria, por um modelo hidráulico e um modelo hidrológico, havendo, ainda, programas existentes, que incluem a componente de modelação da qualidade da água (Cândido, 2013). Para o presente trabalho, interessa, somente, a componente associada à modelação hidráulica e hidrológica

Existem diferentes tipos de modelos utilizados para simular a propagação do escoamento superficial, nomeadamente, curvas tempo-área, modelo de reservatório linear, modelo de reservatório não-linear ou modelo cinemático e modelo do hidrograma unitário.

Na presente dissertação, aborda-se apenas o modelo utilizado no programa de simulação *Storm Water Management Model* (SWMM) da agência norte-americana para a proteção do ambiente (US EPA), ou seja, o modelo de reservatório não-linear ou modelo cinemático. O SWMM simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas, podendo ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, bem como para uma simulação contínua de longo termo.

O componente relativo ao escoamento superficial do SWMM opera com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamento. O modelo de transporte hidráulico simula o percurso destas águas através de um sistema composto por coletores, câmaras de visita, dispositivos de armazenamentos, bombas e elementos de regulação. A simulação acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia, assim como a altura de escoamento e a qualidade da água em cada coletor e câmara de visita, durante um período de simulação composto por múltiplos intervalos de tempo.

Os modelos de simulação matemática de sistemas de drenagem, como o SWMM, consideram vários processos hidrológicos que produzem escoamentos, tais como (Rossman, 2010):

- eventos de precipitação variáveis no tempo;
- evaporação em corpos de água;
- acumulação de neve e degelo;
- interceção da precipitação por retenção superficial;
- infiltração da precipitação em solos não saturados;
- percolação da água infiltrada para o subsolo;
- escoamento entre o subsolo e o sistema de drenagem;
- modelação não linear do escoamento superficial.

A variabilidade espacial em todos estes processos é obtida pela definição prévia de sub-bacias hidrográficas homogéneas, mais pequenas do que a área em análise. O SWMM possui um conjunto versátil de ferramentas de modelação hidráulica que proporcionam a capacidade de (Rossman, 2010):

- simular escoamento em redes de comprimento ilimitado;
- definir uma variedade de seções transversais abertas ou fechadas;
- modelar elementos especiais como unidades de armazenamento, bombas, descarregadores, orifícios;
- receber informação de quantidade e qualidade do modelo de escoamento superficial;
- receber *inputs* externos sobre a forma de séries temporais (e.g. entradas de ARD, efeitos de maré);
- utilizar a aproximação da onda cinemática ou a onda dinâmica completa para resolução da equação da conservação da quantidade de movimento
- aplicar regras de controlo definidas pelo utilizador para simular a operação de bombas, abertura e fecho de orifícios;

- modelar diversos fenómenos hidráulicos como ressalto hidráulico, entrada em carga, inversão no sentido do escoamento e inundações.

O SWMM também permite estimar a produção e a evolução de cargas de agentes poluentes associadas ao escoamento superficial, nomeadamente (Rossman, 2010):

- alteração da qualidade para diversos poluentes;
- acumulação em tempo seco para diferentes utilizações do solo;
- redução da acumulação em arruamentos devido a limpeza;
- redução da carga poluente devido à aplicação de soluções de controlo na origem;
- receber *inputs* externos sobre a forma de séries temporais (e.g. entrada de ARD ou outras);
- redução da concentração de poluentes devido ao tempo de retenção em dispositivos de armazenamento ou nos próprios coletores.

Para a modelação de sistemas de águas residuais domésticas com contribuição indevida de águas pluviais, não se pode utilizar o mesmo procedimento que no caso de sistemas unitários. Em sistemas unitários, simula-se a rede de drenagem considerando em simultâneo os caudais de origem doméstica e os caudais gerados na totalidade das sub-bacias de drenagem contributivas.

No caso dos sistemas separativos com contribuições indevidas de caudal de origem pluvial, geralmente não se sabe onde se localizam as ligações indevidas nem qual a sua magnitude. Nestes sistemas a modelação hidráulica pode ser de grande utilidade, nomeadamente para identificar as bacias de drenagem mais propensas a registar a ocorrência de inundações durante eventos de precipitação, localizar as sub-bacias que mais contribuem com afluências indevidas para o sistema de drenagem e quantificar a magnitude de área impermeável ligada à rede de drenagem (Brito *et al.*, 2009).

Uma técnica para identificar afluências indevidas em sistemas separativos baseia-se no método racional, sendo este um dos mais simples e amplamente utilizados para fenómenos hidrológicos em bacias hidrográficas urbanas. Brito *et al.* (2009) propõe a estimativa de um coeficiente do escoamento aparente para utilizar no método racional. Para tal, é necessário quantificar a contribuição das áreas impermeáveis ao longo do sistema. Em sistemas separativos com ligações indevidas, a contribuição das áreas impermeáveis é de difícil quantificação.

A definição de um coeficiente de escoamento aparente, C' , representa a percentagem de precipitação útil que efetivamente drena para o sistema separativo, correspondendo à existência de uma área impermeável contributiva, A . O procedimento para simular afluências indevidas consiste em atribuir diferentes valores de A no modelo de modo a garantir, para cada evento, o menor erro possível no hidrograma.

Na identificação dos eventos de precipitação a ter em conta para a simulação da resposta do sistema em tempo de chuva, é necessário ter-se em consideração que, tendo em conta a resposta do sistema de drenagem, eventos sequenciais podem não ser independentes (Brito, 2012). Ou seja, embora eventos de precipitação sequenciais possam ser identificados como eventos distintos do ponto de vista hidrológico, se estes conduzirem a hidrogramas que se

sobrepõem no tempo, no coletor, devem ser considerados como eventos dependentes. Devem ser agrupados e simulados como uma única série temporal, constituindo, assim, um evento independente. Para se assegurar que a resposta do sistema de drenagem em tempo de chuva é adequadamente simulada, interessa definir o número mínimo de eventos a monitorizar em campanhas de curta duração. Romero (2012) e Brito (2012) estudaram a variabilidade dos parâmetros hidráulicos como fator de ponta, volume afluente e máxima altura relativa de escoamento, parâmetros que geralmente são utilizados para avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem, por ocorrência de precipitação. Verificaram ser necessário cerca de oito eventos independentes, tendo este resultado sido considerado elevado. Na prática, esta conclusão significa que a caracterização do escoamento em tempo de chuva requer que o período de monitorização da secção em estudo seja consideravelmente longo, talvez de vários meses, pelo que a maioria dos estudos baseia-se em recomendações anteriores que consideram que para uma caracterização adequada do funcionamento de um coletor, deve pelo menos dispor-se de três eventos de precipitação (WaPug, 2002), devendo este número ser superior caso se verifique a entrada de caudais indevidos de origem pluvial em sistemas separativos domésticos (afluências diretas ou por infiltração).

2.4. DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

2.4.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A necessidade de uma diversidade na prestação dos serviços de abastecimento de água e águas residuais, juntamente com um aumento do acompanhamento e visibilidade da sua qualidade, solicita a utilização de sistemas de avaliação de desempenho que sejam consistentes, transparentes e auditáveis. Foi neste contexto que a *International Water Association* (IWA) promoveu o desenvolvimento de sistemas de indicadores de desempenho para os serviços de abastecimento de águas e águas residuais (Alegre *et al.*, 2004).

Os Decretos-lei n.º 194/2009 e n.º 195/2009, ambos de 20 de agosto, relativos ao regime jurídico dos serviços municipais e multimunicipais, respetivamente, obrigam as entidades gestoras de serviços urbanos de água que sirvam mais de 30 000 habitantes a promover e a manter um sistema de Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI) (Artigo 8º, ponto 5, alínea b) do Decreto-lei n.º 194/2009). Estes dois decretos-lei refletem a preocupação da Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) relativamente à necessidade das entidades gestoras adotarem estratégias adequadas para a gestão patrimonial das infraestruturas dos sistemas urbanos de água, tendo em consideração os pontos de vista de desempenho, custo e risco durante o ciclo de vida dos seus componentes. Neste enquadramento, Alegre e Covas (2010) e Almeida e Cardoso (2010) apresentam uma metodologia para a elaboração de planos de GPI que se encontra estruturada em três níveis de decisão – estratégico, tático e operacional.

Atualmente as entidades gestoras de sistemas urbanos de água aplicam o sistema de avaliação da qualidade de serviço da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Residuais (ERSAR) que se baseia no sistema de indicadores da IWA. Anualmente, a ERSAR

disponibiliza publicamente os resultados desta aplicação a nível do território continental (<http://www.ersar.pt/website/>). No arquipélago dos Açores, está a ser iniciada a aplicação de um sistema semelhante pela ERSAR dos Açores (<http://www.azores.gov.pt/GRA/srrn-ersara>).

Em Cardoso, 2008, é efetuada a avaliação de desempenho em sistemas de drenagem com características e aplicações distintas, incluindo na avaliação o domínio hidráulico e o domínio ambiental. O tipo de dados disponíveis condiciona a escala de avaliação, ou seja, para uma avaliação menos detalhada, à escala global, é possível utilizar dados de monitorização. Já uma avaliação detalhada, à escala elementar, necessita de dados de modelação, o que envolve um maior investimento financeiro da entidade gestora.

Ao avaliar um sistema existente, é pertinente analisar até que ponto são cumpridas as exigências regulamentares e os critérios de desempenho funcional.

A avaliação do desempenho constitui um meio de quantificar de uma forma objetiva as capacidades e as deficiências dos sistemas, constituindo um suporte para a adoção de medidas corretivas de reabilitação, além de permitir estabelecer comparações independentes e em base normalizada (Cardoso, 2007).

2.4.2. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO REGULAMENTARES

O Decreto Regulamentar (DR) n.º 23/95 de 23 de agosto, estabelece critérios de dimensionamento para o ano de início de exploração e para o horizonte de projeto. Estes critérios são de natureza construtiva (por exemplo, estabelecendo inclinações mínimas e máximas da tubagem) e de natureza hidráulica (por exemplo, estabelecendo velocidades mínimas e máximas).

Os limites regulamentares de acordo com a natureza construtiva e hidráulica são os que se apresentam no Quadro 2.

Quadro 2 - Limites regulamentares de acordo com o DR n.º 23/ 95

Natureza	Variável	Limite
Construtiva	Comprimento máximo do coletor	60 m
	Inclinação máxima	15%
	Inclinação mínima	0,5%
	Diâmetro mínimo	200 mm
	Cota de soleira mínima	1,20 m
Hidráulica	Velocidade mínima	0,6 m/ s
	Velocidade máxima	3,0 m/ s
	$h/ D_{\text{máx}}$ (altura de escoamento relativa máxima)	0,5

Alguns dos critérios regulamentares, nomeadamente os de natureza hidráulica, podem ser utilizados para avaliar, num determinado instante, como é que a infraestrutura se posiciona num qualquer ano da sua vida útil. Muito embora os critérios de natureza construtiva não

constituam, por si só, critérios de avaliação de desempenho, são muito frequentemente fatores explicativos de um eventual défice no desempenho num sistema que não os cumpra.

2.4.3. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A avaliação do desempenho constitui um meio de quantificar de uma forma objetiva as potencialidades e as deficiências dos sistemas, constituindo um suporte para a adoção de medidas corretivas de reabilitação, além de permitir estabelecer comparações independentes e em base normalizada (Cardoso, 2007). Entende-se por sistema de avaliação de desempenho o conjunto de dados, de cálculos, de métricas de desempenho e de informação de contexto que permitem avaliar e reportar o desempenho de uma infraestrutura, de um serviço prestado ou de uma entidade gestora (ERSAR e LNEC, 2014; Sanina, 2010).

A norma EN 13508-1:2003 – *Condition of drain and sewer systems outside buildings – Part 1: General requirements* (CEN, 2003) estabelece os requisitos gerais para as fases de diagnóstico e avaliação do desempenho de sistemas públicos de águas residuais e pluviais.

De um modo geral, as métricas de desempenho que são a componente nuclear do sistema de avaliação de desempenho, podem ser agrupadas em três categorias: indicadores de desempenho, índices de desempenho e níveis de desempenho.

Um indicador de desempenho (ID) é uma medida quantitativa de um aspeto particular do desempenho do sistema ou do serviço. Os ID são tipicamente expressos por rácios entre variáveis (dados do operador). Os principais componentes de um sistema de indicadores de desempenho são as variáveis necessárias ao seu cálculo, os indicadores propriamente ditos, incluindo a sua definição e regra de cálculo, e a informação de contexto indispensável a uma correta interpretação dos resultados obtidos na avaliação (Alegre e Matos, 2010). Os índices de desempenho (PX) são métricas mais agregadas que os indicadores de desempenho e resultam da combinação de métricas de desempenho elementares (e.g., indicadores de desempenho, níveis de desempenho) ou de instrumentos de análise (e.g., modelos de cálculo de eficiência de custos, modelos de simulação hidráulica). Quando se trabalha com um número reduzido de indicadores, a informação por estes traduzida é fácil de assimilar. No entanto, quando o número de indicadores é elevado e eles estão relacionados, pode ser mais vantajoso agregá-los num só índice (Cardoso, 2007). Os níveis de desempenho (ND) são métricas de desempenho de natureza qualitativa expressas em categorias discretas (e.g., excelente, bom, insatisfatório). Em geral, são adotadas quando não é viável calcular medidas quantitativas (Alegre, 1998; Alegre *et al.*, 2004; Alegre, 2007).

A metodologia de avaliação do desempenho técnico de sistemas de águas residuais e pluviais foi desenvolvida por Cardoso (2007) com base nos conceitos desenvolvidos por Alegre (1992) e aplicados ao estudo dos sistemas de distribuição de água por Coelho (1997).

Cardoso (2007) definiu os princípios e o enquadramento geral, e desenvolveu, em particular, os domínios de avaliação hidráulica e ambiental. As propriedades do sistema que estabeleceu para avaliação são a capacidade hidráulica, a condição de autolimpeza, as afluências indevidas quer por ocorrência de infiltração quer de contribuições de origem pluvial à rede doméstica,

as descargas diretas para o meio recetor provenientes de excedentes de sistemas unitários em tempo de chuva, a exfiltração e a septicidade (Almeida e Cardoso, 2011).

Para a avaliação do desempenho técnico dos sistemas de águas residuais, incluindo os unitários, Cardoso (2007) definiu vinte e seis métricas de desempenho, das quais onze dizem respeito à avaliação no domínio hidráulico e quinze no domínio ambiental. Destas métricas, devem ser seleccionadas as que são relevantes sob o ponto de vista da análise, tendo em atenção que as métricas propostas podem fornecer informação que se complementa, relativamente ao desempenho do sistema, pelo que a análise e interpretação dos resultados não deve ser realizada individualmente, mas utilizando o conjunto das métricas seleccionadas, interpretando os seus resultados de uma forma conjunta e integrada (Almeida e Cardoso, 2011).

3. METODOLOGIA

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a metodologia seguida na presente dissertação de mestrado para avaliação das afluências indevidas. A base do conhecimento de qualquer sistema reside na informação sobre ele existente. No caso do desempenho técnico de sistemas de drenagem urbana de água aquele conhecimento diz respeito à informação relativa às condições físicas e de operação e manutenção das infraestruturas. O planeamento em gestão patrimonial de infraestruturas assenta em três níveis de decisão (Alegre e Covas, 2010):

- Nível estratégico: uma visão macro, de conjunto, “olhar para a floresta”;
 - tem em vista definir a direção para onde a organização pretende ir a longo prazo, nos aspetos relevantes para a gestão patrimonial das infraestruturas.
- Nível tático: uma visão intermédia, um “olhar para a árvore”;
 - define o caminho a seguir a médio prazo, estabelecendo as prioridades de intervenção e as soluções a adotar.
- Nível operacional: uma visão de pormenor, um “olhar para a folha”;
 - corresponde a percorrer esse caminho, ou seja, à programação de curto prazo e à execução das ações previstas.

A metodologia preconizada assenta em cinco passos principais (cf. Figura 7): (i) definição de objetivos, critérios de avaliação, métricas e metas; (ii) elaboração do diagnóstico; (iii) elaboração do plano; (iv) implementação do plano; (v) monitorização e revisão do plano (controlo do plano).

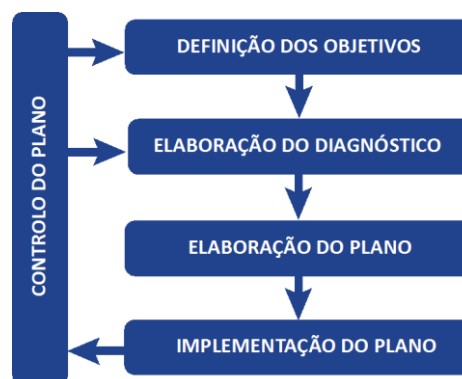


Figura 7 – Metodologia GPI

O processo de planeamento tático pretende desdobrar os objetivos e níveis de serviço estabelecidos no plano estratégico para as diferentes áreas da organização. Deste modo, do plano estratégico podem resultar vários planos táticos, como por exemplo um plano de minimização de afluências indevidas aos sistemas. O presente trabalho de dissertação foca-se maioritariamente na elaboração do diagnóstico e na sua avaliação.

3.2. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Os objetivos táticos traduzem os objetivos estratégicos em objetivos sectoriais e definem os recursos necessários para atingir os níveis de serviço pretendidos (e.g. redução das afluências indevidas). Para cada objetivo estabelecido, uma entidade gestora deve definir critérios de avaliação, métricas e metas, de modo a que seja possível a avaliação concreta do seu cumprimento.

De realçar que ao nível tático se pretende efetuar a avaliação global e em unidades espaciais de menor dimensão, correspondendo normalmente a subsistemas, e podem ser estabelecidas metas diferentes para as mesmas métricas de desempenho em diferentes unidades espaciais (Almeida e Cardoso, 2010).

No caso em estudo, o objetivo da entidade gestora seria o Controlo das Afluências Indevidas, nomeadamente das afluências de origem pluvial e infiltração ao sistema de drenagem urbana. Para este objetivo, definiram-se critérios de avaliação (aspetos regulamentares e desempenho operacional) e respetivas métricas e valores de referência. Os valores de referência referem-se a limites regulamentares ou a indicações da bibliografia relativas a necessidades de intervenção para resolver um determinado problema. Não foram definidas metas, tendo sido considerado que estas devem ser identificadas pela entidade gestora consoante os recursos de que disponha.

3.3. ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O diagnóstico tático consiste na análise do sistema de drenagem de água em estudo permitindo identificar as disfunções que indiciam a existência de problemas sob determinados pontos de vista considerados relevantes, nomeadamente, hidráulico, ambiental, estrutural e operacional. O diagnóstico tático é bastante vasto, e compreende, entre outros aspetos: (i) a identificação, recolha e avaliação da informação, e (ii) a avaliação do desempenho dos sistemas, sobre os quais se irá debruçar a presente dissertação.

Para o diagnóstico das afluências indevidas, foi aplicada uma metodologia que, no que se refere à recolha e avaliação da informação de base, se baseia em modelação matemática. Esta aplicação, em paralelo com informação de cadastro, suporta a avaliação de desempenho.

Para a modelação hidráulica da bacia piloto recorreu-se ao programa Storm Water Management Model (SWMM) da agência governamental dos Estados Unidos da América para o ambiente – Environmental Protection Agency (EPA). Para simulação da rede de drenagem, é necessária a realização de várias etapas que se apresentam no fluxograma da Figura 8.

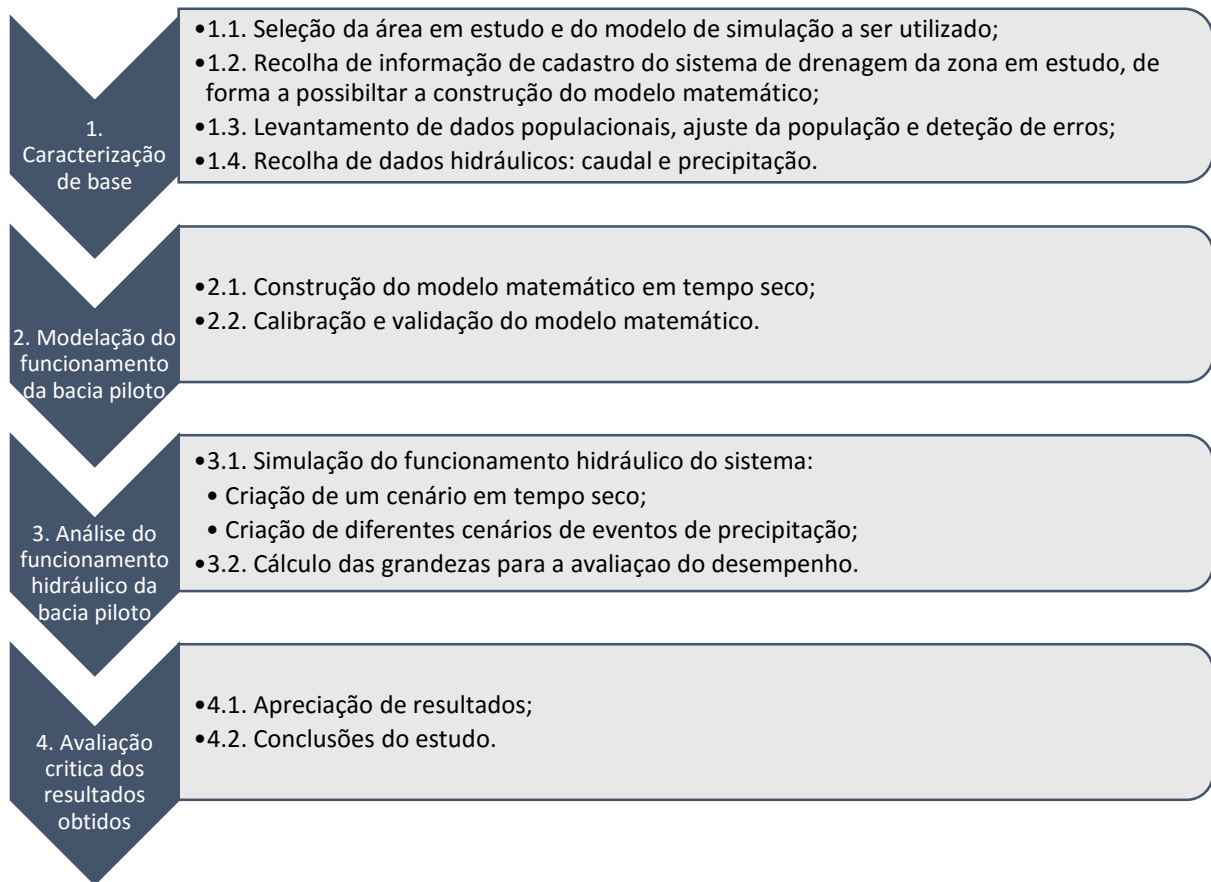


Figura 8 - Fluxograma da metodologia aplicada para a modelação hidráulica

Após a modelação do sistema, procedeu-se à avaliação do desempenho. Neste contexto, foram seleccionados os indicadores a aplicar que evidenciassem o tipo de afluência indevida da bacia piloto, a respetiva magnitude e as zonas de atuação prioritária.

Para a avaliação de desempenho foi necessária a realização das etapas apresentadas na Figura 9.

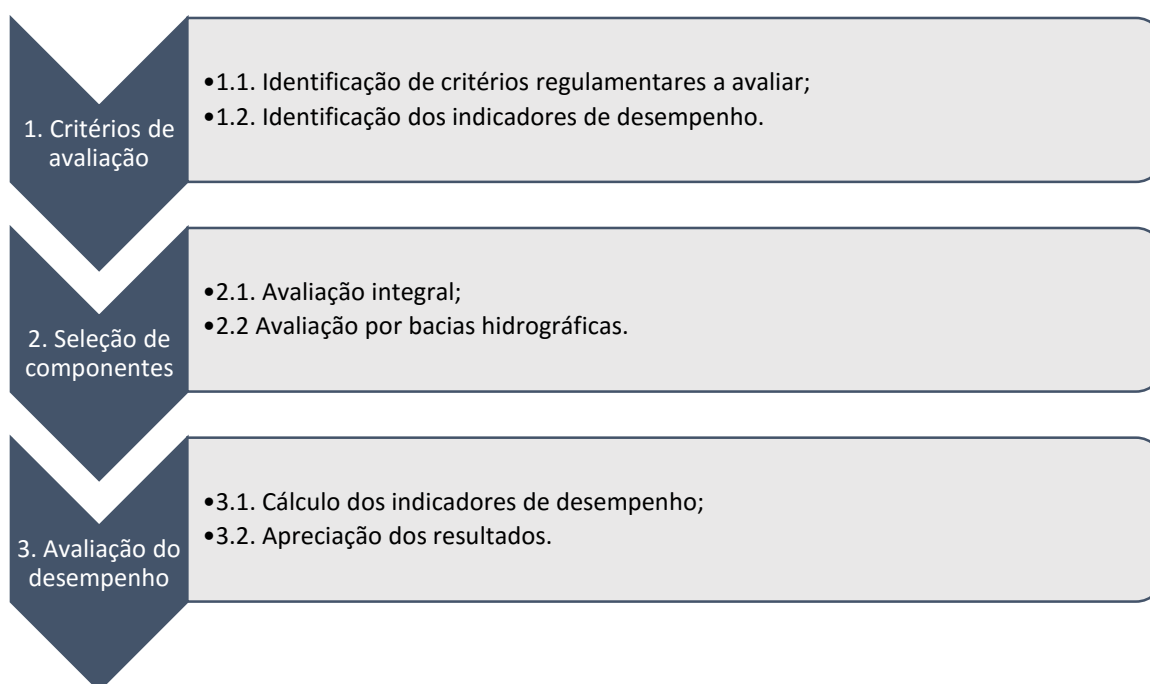


Figura 9 - Fluxograma para a metodologia da avaliação de desempenho

3.3.2. INFORMAÇÃO NECESSÁRIA PARA A AVALIAÇÃO DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Dados de cadastro

De forma a ser realizada uma recolha de informação de cadastro fiável, é necessário recolher a seguinte informação sobre a rede em estudo:

- **coletores:** diâmetros de tubagens, tipo de material, comprimentos, coordenadas de montante e de jusante, cotas de soleira;
- **câmaras de visita:** profundidade, forma, dimensões, cotas topográficas;
- **estações de bombagem:** cotas topográficas, características da bomba, dimensões do poço de bombagem.

Para complementar a recolha de informação de cadastro, podem ser realizadas visitas de campo, de forma a fazer o reconhecimento da zona em estudo, permitindo desta forma verificar no terreno a informação registada.

Levantamento de dados populacionais

O levantamento de dados populacionais foi realizado através do cálculo do número de habitantes, com base no conhecimento dos prédios e moradias existentes na zona em estudo. Posteriormente, esta estimativa foi comparada com os dados fornecidos, de forma a averiguar se a diferença era aceitável, uma vez que os dados disponibilizados eram referentes a um ano anterior. Por uma questão de simplificação, efetuou-se a ligação de vários prédios a uma só câmara de visita, não tendo sido efetuada a introdução dos ramais de ligação no modelo.

Recolha de dados hidráulicos

No caso específico das afluências indevidas, são necessários dados de caudal e de precipitação. Os dados de medições no sistema podem ser obtidos em vários locais, em diferentes períodos, pelo que podem ser acumuladas várias séries temporais extensas, que importa processar para retirar a informação essencial. Caso esteja disponível apenas um medidor de caudal, é importante que este se localize a jusante de toda a bacia em estudo.

É recomendável processar a informação obtida de modo a realizar a avaliação quantitativa da dimensão do problema e da causa predominante das afluências indevidas. Assim, para cada ponto de medição e para todos os dias de registo devem ser obtidos os seguintes caudais:

- Q_{min_d} – Caudal mínimo diário (m^3/s);
- Q_{med_d} – Caudal médio diário (m^3/s);
- Q_{max_d} – Caudal máximo diário (m^3/s).

Para estes valores devem ser calculadas as médias e os quartis para toda a série de observações e para os dias de tempo seco. A comparação permite avaliar a existência de diferenças significativas para os caudais mínimos, máximos e médios, desde que os períodos de medição sejam representativos dos processos à escala anual. A interpretação das diferenças deve levar em conta as condições locais que possam ser determinantes no comportamento em estudo, como a variação da população flutuante (Almeida e Cardoso, 2010).

Modelação em tempo seco

A utilização dos modelos matemáticos de simulação constituem-se como os instrumentos mais consagrados no campo do diagnóstico de funcionamento dos sistemas de drenagem urbana de água. Com base nos resultados é possível calcular um conjunto de indicadores de desempenho específicos.

Dependendo do objetivo da modelação pode ser mais ou menos relevante adotar diferentes níveis de simplificação do modelo de um sistema (Almeida e Cardoso, 2010). Como já foi referido, no presente trabalho utilizou-se o programa SWMM 5.1, uma vez que é um modelo de simulação dos fenómenos hidrológicos e hidráulicos em bacias hidrográficas urbanas, podendo ser utilizado tanto para a simulação de um único evento como para uma simulação contínua a longo prazo. Para além disso, adequa-se bem às necessidades atuais de simulação dos sistemas de águas residuais e de águas pluviais, sendo também de utilização livre e gratuita, não havendo quaisquer restrições ao seu uso. É fiável, bem documentado e beneficia de recursos de consulta importantes, como um newsgroup muito participado pelos melhores especialistas mundiais (Duarte, 2014).

Para simulação da rede de drenagem, é necessária a realização de várias etapas, nomeadamente, construção do modelo, caracterização funcional e das afluências, calibração do modelo e simulação de cenários.

A construção do modelo hidráulico da rede em estudo consiste na descrição física do sistema, incluindo coletores, câmaras de visita, descarregadores, instalações elevatórias e válvulas

utilizadas para operação. A importação do traçado da rede de coletores pode ser efetuada através de um ficheiro CAD com posterior inserção das propriedades de cada um dos componentes que constituem a rede de drenagem.

Para cada troço de coletor deve ser introduzida informação relativa ao diâmetro (referido no SWMM como *Max.Depth*), e à respetiva rugosidade de Manning-Strickler, que depende do material da tubagem. Os dados a introduzir nas câmaras de visita são a cota de soleira (*Invert Elevation*.) e a profundidade da caixa (*Max. Depth*). Para além destas variáveis é necessário introduzir informação, em cada câmara de visita, relativa ao caudal de origem doméstica e o respetivo padrão temporal. No caso de existirem estações elevatórias, também deve ser adicionado ao modelo as características do poço de bombagem e a curva característica da bomba.

Para adicionar o caudal médio em cada câmara de visita, foi necessário verificar quantos prédios debitavam caudal para cada câmara de visita. O valor da capitação (*c*) obtém-se através do artigo 13 do Decreto Regulamentar n.º 23/ 95 do Diário da República e o fator de afluência considera-se 0,8.

Posteriormente, calcula-se o caudal médio através da seguinte fórmula:

$$Q_m \text{ (l/s)} = \text{Pop} \times c \times k \quad (1)$$

Em que:

Pop – População servida (hab);

c – Capitação média de águas residuais segundo alínea a) do artigo 13 do Diário da República (m³/hab.dia);

k – Fator de afluência ($\approx 0,8$).

Para a introdução de um hidrograma padrão de tempo seco, é necessário saber os hábitos de consumo de água na zona em estudo ou recorrer ao padrão de uma área com usos da água semelhantes.

Calibração

A calibração do modelo consistiu num processo iterativo, através do qual a capitação foi alterada, com base na comparação entre os resultados de caudal simulado e os dados de caudal reais, proveniente de medição na rede de drenagem.

É igualmente possível efetuar a calibração do modelo de tempo seco por ajuste de outros parâmetros, como a população contributiva ou o coeficiente de *Manning-Strickler* dos coletores. No que respeita ao coeficiente de rugosidade de *Manning-Strickler*, optou-se por não ajustar estes parâmetros por não se ter conhecimento do estado de conservação dos coletores ao longo da rede.

A calibração e verificação dos modelos deve ser realizada por meio da medição dos caudais. Os caudais de base em tempo seco são normalmente estimados com base nos registos do consumo anual da água, sendo determinado um padrão de consumo na bacia para verão e inverno (Almeida e Cardoso, 2010), mas podem também ser medidos na rede. Nesse caso,

interessa selecionar dias de tempo seco, sem ocorrência de precipitação, devendo, no entanto, ter-se o cuidado de assegurar o restabelecimento do hidrograma após uma chuvada, considerando um tempo de recuperação de pelo menos 4 a 6 dias após cada evento de precipitação, para bacias urbanas já com alguma dimensão (Brito, 2012). Poderá ser suficiente um período de 5 dias para determinação do caudal médio de tempo seco sendo, no entanto, preferível utilizar uma amostra de dados com a mesma duração, após 15 dias de tempo seco ou um evento de precipitação (Brito, 2012).

O ajuste entre o caudal simulado e o caudal medido é feito até se verificar uma correspondência aceitável entre ambos, para os vários dias em análise. O ajustamento pode ser avaliado através do cálculo do erro volumétrico e da comparação gráfica entre as séries de caudal.

No escoamento em tempo seco, a relação entre os valores simulados e medidos de caudal deve ter um erro volumétrico entre -10% e 10% (*WaPUG, Wastewater Users Group, Allit*, 1999). O erro volumétrico é determinado através da seguinte fórmula:

$$\text{Erro Volumétrico} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

- $Q_{o,i}$ – Caudal observado no instante de cálculo i (m^3/s);
- $Q_{s,i}$ – Caudal simulado no instante de cálculo i (m^3/s).

Simulação de diferentes cenários de eventos de precipitação

Após a calibração do modelo em tempo seco, para se avaliar o comportamento da rede durante a ocorrência de precipitação, devem caracterizar-se e introduzir-se no modelo as bacias hidrográficas na rede em estudo. Estas podem ser definidas consoante a informação topográfica disponível, sendo posteriormente dividida em sub-bacias. A simplificação da rede possibilita a comparação de diferentes zonas.

No caso de redes separativas domésticas, não é suposto haver ligações indevidas de origem pluvial à rede doméstica. Mas havendo a suspeita de que possa haver contribuição de caudais pluviais, é importante que sejam definidas as bacias naturais, analisados os constrangimentos urbanos (como muros, estradas, etc.) e estudada a percentagem de área da bacia que, devido a ligações indevidas ou infiltração, contribuem com caudais pluviais. A percentagem de área impermeável efetivamente ligada pode equiparar-se ao parâmetro C da fórmula Racional.

A percentagem de área contributiva é assim um parâmetro importante e que deve ser estimado por comparação entre o caudal medido em tempo de chuva e o caudal simulado, inserindo no modelo os dados do evento de precipitação que deu origem a esse caudal. É natural que a área contributiva varie de evento para evento, uma vez que pode depender do estado de encharcamento anterior do solo, ou de ligações entre sistemas que apenas se verificam para cotas mais elevadas (dentro da câmara de visita), por exemplo.

Para caracterização da bacia hidrográfica devem ser identificados parâmetros físicos e hidrológicos. É importante também a identificação da câmara de visita que recebe caudal pluvial, localizada imediatamente a jusante da bacia hidrográfica. Para seleção dos eventos de precipitação a considerar nos cenários de tempo de chuva, é importante efetuar previamente a sua caracterização. Os eventos de precipitação são caracterizados através dos seguintes fatores:

- Duração (min);
- Precipitação acumulada (mm);
- Intensidade média (mm/h);
- Intensidade máxima (mm/h);
- Tempo seco anterior (h).

Tendo como objetivo perceber até que ponto a afluência de caudais pluviais poderá condicionar o desempenho do sistema, selecionam-se eventos com diferentes características, como por exemplo os eventos com maiores valores de precipitação acumulada e intensidade.

3.3.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA

Critérios regulamentares e indicadores de desempenho

Após a modelação do sistema, pode proceder-se à avaliação do desempenho com base nos resultados obtidos. Em primeiro lugar, pode-se verificar para o sistema em análise o cumprimento dos critérios regulamentares, nomeadamente os apresentados no Quadro 2.

Em seguida, podem determinar-se indicadores de desempenho específicos para avaliação da infiltração, tendo por base a sua relação com o caudal mínimo (Almeida e Cardoso, 2010). No Quadro 3 apresentam-se exemplos de indicadores específicos para avaliação da infiltração, associada a uma classificação de baixa, média e alta prioridade.

Quadro 3 - Indicadores de desempenho para a infiltração (Almeida e Cardoso, 2010)

Designação	Indicador	Unidade	Definição	Classificação da prioridade		
				Baixa	Média	Alta
Caudal mínimo = f (infiltração)						
ID1	$\frac{Q_{min\ dts}}{Q_{sc}}$	%	Utilização da capacidade da secção cheia pelo caudal mínimo diário de tempo seco	<25	25-50	>50
ID2	$\frac{Q_{max\ dts}}{Q_{sc}}$	%	Utilização da capacidade da secção cheia pelo caudal máximo diário de tempo seco	<75	75-100	>100
ID3	$\frac{Q_{min\ dts}}{Q_{mts}}$	%	Relação entre o caudal mínimo diário de tempo seco e o caudal médio de tempo seco	<25	25-50	>50
ID4	$\frac{Q_{max\ dts}}{Q_{mts}}$	adimensional	Relação entre o caudal máximo diário de tempo seco e o caudal médio de tempo seco	<3	3--5	>5
ID5	$\frac{Q_{min\ dts}}{L_{colector}}$	m³/(dia.km)	Caudal mínimo diário de tempo seco por unidade de comprimento de coletor	<40	40-80	>80

No Quadro 4 apresentam-se exemplos de indicadores de desempenho para avaliar as afluências indevidas à rede doméstica de origem pluvial, determinados com base em eventos de precipitação registados.

Quadro 4 – Indicadores de desempenho para afluências indevidas à rede doméstica de origem pluvial

Designação	Indicador	Unidade	Definição	Classificação da prioridade		
				Baixa	Média	Alta
Ligações indevidas de origem pluvial à rede doméstica (eventos de precipitação registados)						
ID6	$\frac{Q_{max_{tc}}}{Q_{sc}}$	%	Utilização da capacidade da secção cheia em tempo de chuva	<75	75-100	>100
ID7	$\frac{V_{tc}}{V_{mts}}$	adimensional	Proporção do volume de escoamento em tempo de chuva relativamente ao de tempo seco	<3	3--6	>6
ID8	$\frac{V_{tc} - V_{mts}}{V_{pu}}$	%	Proporção do volume de escoamento que indevidamente aflui ao sistema relativamente à precipitação útil	0-1	1--3	>3

As variáveis utilizadas nos indicadores são as seguintes:

- $L_{coletor}$ - Comprimento total de coletor a montante do ponto de medição (km)
- $Q_{min_{dts}}$ - Caudal mínimo diário de tempo seco (m³/s)
- $Q_{med_{dts}}$ - Caudal médio diário de tempo seco (m³/s)
- $Q_{max_{dts}}$ - Caudal máximo diário de tempo seco (m³/s)
- $Q_{max_{tc}}$ - Caudal máximo ocorrido no evento de precipitação (m³/s)
- $Q_{max_{ts}}$ - Caudal máximo observado em tempo seco (m³/s)
- Q_{mts} - Caudal médio de tempo seco (m³/s)
- Q_{sc} - Caudal de secção cheia (m³/s)
- V_{tc} - Volume de água no evento de precipitação (m³)
- V_{mts} - Volume médio de águas residuais de tempo seco (m³)
- V_{pu} - Volume precipitação útil caído na bacia (m³). V_{pu} é calculado considerando o produto $A_{lbacia} \times P_u$, sendo A_{lbacia} (ha) a área impermeável de drenagem pluvial da bacia e P_u (mm) a precipitação útil caída na bacia.

Os indicadores ID1 a ID5 e ID9 devem ser calculados diariamente, para o período de tempo seco. Os indicadores ID6 a ID8 devem ser calculados por evento de precipitação. Para estes valores devem ser feitas as médias e os quartis (Almeida e Cardoso, 2010). No presente trabalho, foram determinados todos os indicadores apresentados entre o ID1 e o ID7, por não estar disponível uma caracterização detalhada da área impermeável das bacias, necessária para o cálculo do ID8.

Componentes em avaliação - Avaliação integral

No que respeita aos critérios de natureza construtiva, estes são determinados e analisados para todos os componentes do sistema (coletores e câmaras de visita), caso os dados de cadastro estejam disponíveis para todo o sistema.

No que respeita aos critérios de natureza hidráulica, após uma simulação os valores de algumas variáveis ficam disponíveis para todo o sistema (é o caso da altura máxima de água no coletor, no período de tempo simulado), mas algumas variáveis apenas podem ser determinadas por análise, por exemplo, do hidrograma modelado para cada componente (é o

caso do caudal mínimo no período de tempo simulado). O mesmo se aplica ao cálculo dos indicadores de desempenho.

Assim sendo, opta-se por efetuar uma avaliação integral, incluindo todos os componentes, quando essa informação está diretamente disponível nos resultados da simulação.

Componentes em avaliação - Avaliação por bacias hidrográficas

Para os indicadores de desempenho para os quais não é possível retirar resultados diretamente do programa de modelação, pode ser efetuada uma análise sintética do comportamento por bacias hidrográficas, avaliando o hidrograma nos coletores imediatamente a jusante das sub-bacias hidrográficas em estudo.

3.4. ELABORAÇÃO E CONTROLO DO PLANO

Com base nos resultados da avaliação, importa desenvolver e avaliar soluções integradas com potencial para melhorar o desempenho e cumprir as metas e os requisitos estabelecidos, tendo em conta os cenários de desenvolvimento futuro. Após a avaliação comparativa das soluções, pode-se proceder à seleção das opções a implementar e à elaboração do plano de ação correspondente (Alegre *et al.*, 2010).

O controlo do plano corresponde à monitorização e revisão do plano, de modo a identificar eventuais desvios às metas estabelecidas e verificar o grau de implementação de cada uma das ações definidas sendo depois as correções necessárias inseridas na revisão do plano.

Conforme referido, na presente dissertação de mestrado não se realizou o plano de minimização de afluências indevidas, focando-se este trabalho maioritariamente nas fases da elaboração do diagnóstico e na respetiva avaliação.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO

4.1.1. SISTEMA DE DRENAGEM

O caso de estudo foi fornecido pela Câmara Municipal do Barreiro (CMB) que tem como objetivo reduzir as afluências nos sistemas de drenagem doméstico do concelho. A CMB realizou, em 2013, o “Plano de controlo de afluências indevidas do Concelho do Barreiro”, no qual estimou globalmente nos sistemas e subsistemas de águas residuais domésticos a magnitude de caudais indevidos.

O município do Barreiro é constituído por três sistemas principais de drenagem de águas residuais domésticas, mais concretamente os sistemas Barreiro, Coina e Penalva. Estes três sistemas encontram-se divididos em subsistemas, como é possível observar-se na Figura 10.



Figura 10 - Sistema e subsistemas do Barreiro (CMB, 2013)

O sistema do Barreiro abrange a totalidade das freguesias do Barreiro, Verderena, Alto do Seixalinho, Lavradio, Palhais e cerca de 80% da freguesia de Santo António da Charneca. Abarca 23,7 km² de área do Concelho (74% da área do Concelho).

O sistema de Coina abrange a freguesia de Coina, que tem cerca de 6,9 km² (21,4% da área do Concelho) e o sistema Penalva faz parte da freguesia de Santo António da Charneca, com 1,5 km² de área (4,6% da área do Concelho).

Estes três sistemas encontram-se divididos em subsistemas, sendo um total de treze, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5 - Sistema e subsistemas do Concelho do Barreiro

Sistema	Subsistemas
Coina	Coina Nascente
	Coina Poente
Penalva	Penalva Norte
	Penalva Poente
	Penalva Arrais
Barreiro	Norte
	Quinta dos Morgados
	IC – 21
	Vale do Trabuco – Cidade Sol
	Santo António
	Palhais
	Recosta
	Miguel Pais

Cada subsistema doméstico é constituído por bacias de drenagem, as quais foram definidas com base em questões topográficas e/ou no funcionamento atual das redes de drenagem domésticas existentes, existindo um total de 42 bacias para os treze subsistemas considerados.

O estudo realizado identifica as afluências indevidas por sistema e subsistema de drenagem doméstico tendo-se destacado o subsistema Vale do Trabuco – Cidade Sol como prioritário, incidindo desta forma a presente dissertação de mestrado sobre esse subsistema.

4.1.2. OCUPAÇÃO POPULACIONAL

O subsistema de Vale do Trabuco drena as águas residuais domésticas do bairro da Cidade Sol localizado na freguesia de Santo António da Charneca, tendo cerca de 23,7 km² de área. A zona em estudo na generalidade tem ocupação territorial bastante heterogénea, com edifícios habitacionais multifamiliares e moradias, em que a tipologia dos edifícios é de três,

quatro e cinco pisos. Em média, cada edifício é composto por dois fogos, habitados por um agregado familiar de três pessoas. Existem, também, algumas moradias maioritariamente constituídas por dois andares, igualmente habitadas, em média, por três pessoas, conforme ilustrado nas Figura 11.



Figura 11 - Vista geral da Cidade-Sol (Google Earth)

De acordo com dados fornecidos pela Câmara Municipal do Barreiro, referentes ao ano de 2012 (CMB, 2013), a zona em estudo possui cerca de 4018 habitantes, dos quais 1577 são clientes domésticos com saneamento e 205 clientes não domésticos com saneamento. A rede de drenagem de águas residuais domésticas tem uma extensão total de 11,8 km, constituída maioritariamente por PVC, sendo o diâmetro nominal predominante o DN 200.

4.1.3. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DA QUINTA DA MINA

Na bacia de drenagem existe uma estação elevatória (EE) designada por EE Quinta da Mina, com cerca de 20 anos. Esta estação elevatória é constituída por dois grupos eletrobomba, um de funcionamento e um de reserva. A EE é do tipo poço húmido e as bombas são de eixo vertical e dimensionados para um caudal nominal de 20,3 m³/h. localiza-se junto a um caminho municipal, numa zona parcialmente coberta com vegetação, conforme ilustrado na Figura 12.

O poço de bombagem existente tem uma forma cilíndrica com 2,3 m de diâmetro e 0,5 m de altura.



Figura 12 - Localização da estação elevatória (Google Earth)

Na Figura 13 apresenta-se a zona envolvente da EE e na Figura 14 apresenta-se a câmara de acesso à grade de limpeza manual e ao poço de bombagem.



Figura 13 - Zona envolvente da estação elevatória



Figura 14 - Câmara de acesso à grade de limpeza manual e ao poço de bombagem

4.2. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

4.2.1. SISTEMA AQUÍFERO DA BACIA DO TEJO-SADO

O subsistema em estudo localiza-se sobre o sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado. A Bacia do Tejo-Sado pode considerar-se dividida em duas subunidades: a Bacia Terciária do Baixo Tejo e a Bacia de Alvalade.

O sistema aquífero Bacia do Tejo-Sado corresponde a uma grande bacia sedimentar, preenchida por sedimentos terciários e quaternários e é formado por várias camadas porosas, em geral confinadas ou semiconfinadas. Na Península de Setúbal o sistema é constituído por um aquífero superior livre. No Município do Barreiro é possível observar furos com artesianismo repuxante (Almeida *et al.*, 2000).

A Bacia Terciária do Baixo Tejo integra o maior sistema aquífero do território nacional, tendo os seus recursos hídricos subterrâneos constituído um importantíssimo fator de desenvolvimento, pois têm assegurado numerosos abastecimentos urbanos, industriais e agrícolas.

O sistema aquífero é recarregado pela precipitação atmosférica e por infiltração nos leitos das linhas de águas, na parte mais elevada do seu percurso na bacia.

Apesar de se considerar que o nível freático do sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado possa, de alguma forma, contribuir para as afluências indevidas do subsistema de drenagem em estudo, este impacto não será, no entanto, avaliado de forma direta.

4.2.2. ESTIMATIVA DE CAUDAL DE ÁGUA RESIDUAL AFLUENTE

De acordo com os Censos 2011 (INE, 2011), a população residente em 2011 era de 4018 habitantes. No estudo realizado pela CMB, em 2013, constam os consumos totais de água, referentes ao ano de 2008 e 2013, para o subsistema em análise, sendo estes de 193.260,5 m³ e 160.688,6 m³, respetivamente. Tendo-se verificado um decréscimo dos valores dos consumos de água entre 2008 e 2012.

O caudal afluente à rede drenagem varia entre 70 e 90% do caudal médio anual de acordo com o Artigos 123º e 124º do Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto de 1995. Assim, considerando um fator de afluência de 80% e a população residente em 2011, obtém-se uma capitação média anual de afluência de 105 e 88 L/(hab.dia), para os anos de 2008 e 2012, respetivamente. Ou em termos de caudais, obtém-se 4,9 e 4,1 L/s, respetivamente para os anos de 2008 e 2012. Encontra-se instalado um medidor de caudal na rede de drenagem do sistema em estudo.

O caudal medido neste local pela extinta empresa SIMARSUL, atual Águas de Lisboa e Vale do Tejo, S.A, em 2012 no subsistema Vale do Trabuco - Cidade Sol foi de cerca de 21.000 m³/mês, ou seja, cerca de 251.000 m³/ano (CMB, 2013), o que representa, em termos de caudal cerca de 8,0 L/s. Este valor é superior em cerca de 94 000 m³/ano relativamente ao valor anteriormente estimado.

Em 2014 o volume de efluente medido pela SIMARSUL entre os dias 05 de junho e 02 de dezembro foi de 143.647,4 m³, resultando num caudal de 9,2 L/s. Quanto ao ano de 2015 o volume anual medido foi de 257.169,1 m³, resultando um caudal de 8,2 L/s, valor em linha com o de 2012.

De acordo com a CMB a razão dos caudais medidos serem superiores aos estimados poderá ser devido a alguns ou à conjunção dos seguintes fatores:

- entrada de caudais pluviais na rede doméstica por meio de ligações indevidas (ligações de sumidouros, ramais de edifícios, coletores, entre outros);
- mau funcionamento de descarregadores de redes unitárias;
- infiltração de águas freáticas na rede doméstica, devido à deterioração da rede (idade da rede) ou devido a má construção da rede (insuficiente vedação da mesma);
- reduzida estanquidade dos componentes do sistema doméstico (por exemplo de tampas das caixas de visita);
- funcionamento inadequado do sistema de medição;
- as parcelas que decompõem o valor estimado estarem, elas próprias, subdimensionadas.

4.2.3. MEDIÇÕES DE CAUDAL NO COLETOR A JUSANTE

A Câmara Municipal do Barreiro forneceu uma compilação de dados de um medidor de caudal instalado na secção de jusante da rede de drenagem em estudo. Este equipamento era gerido pela extinta empresa SIMARSUL, S.A., atual Águas de Lisboa e Vale do Tejo, S.A.. O ficheiro

com a referida compilação contém os dados de caudal, medidos com um intervalo de tempo de 15 minutos, desde 05 de junho de 2014 a 2 de dezembro de 2014 e referente ao ano civil de 2015. Salienta-se que esta não é a discretização temporal mais adequada para permitir uma análise comparativa com dados de precipitação, uma vez que este fenómeno apresenta uma variabilidade elevada em períodos de 15 minutos. Na Figura 13 apresenta-se o esquema do subsistema do Barreiro/ Moita; a vermelho encontra-se a localização do medidor de caudal no subsistema do Barreiro/ Moita.

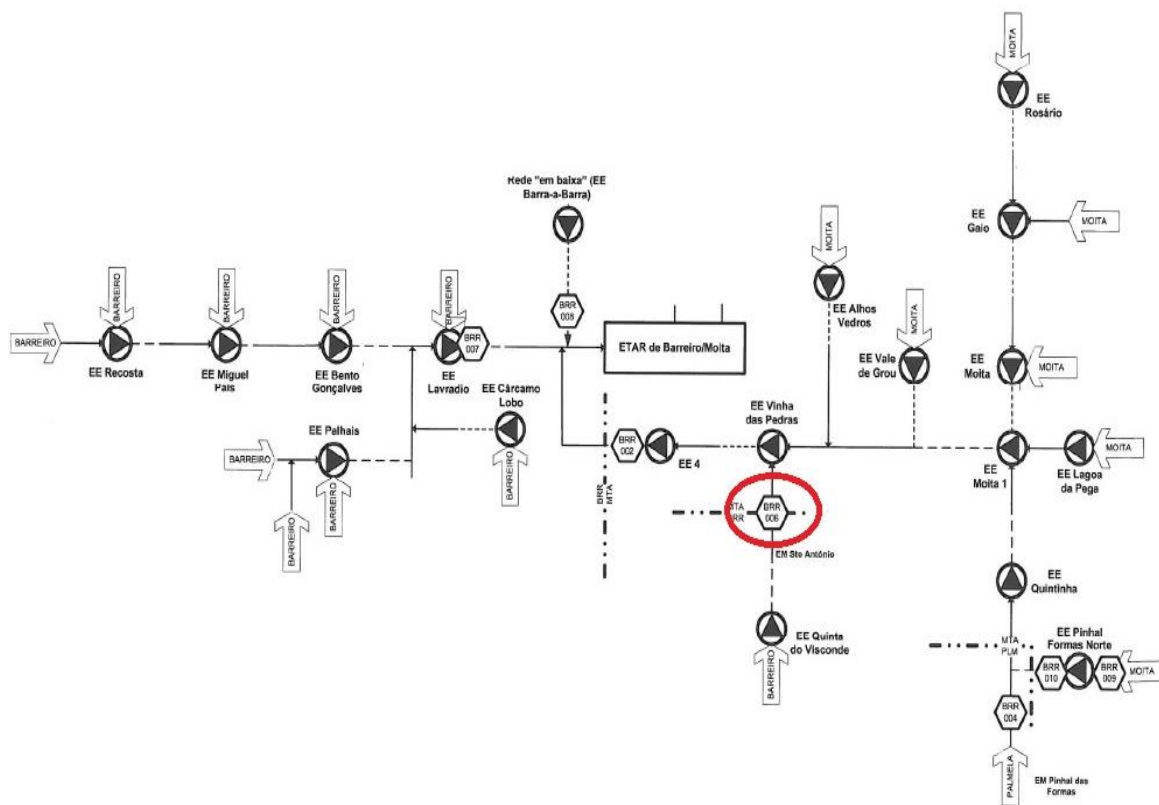


Figura 15 - Esquema do subsistema do Barreiro/ Moita (SIMARSUL)

Na Figura 16 apresenta-se o caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de agosto de 2014 (mês seco).

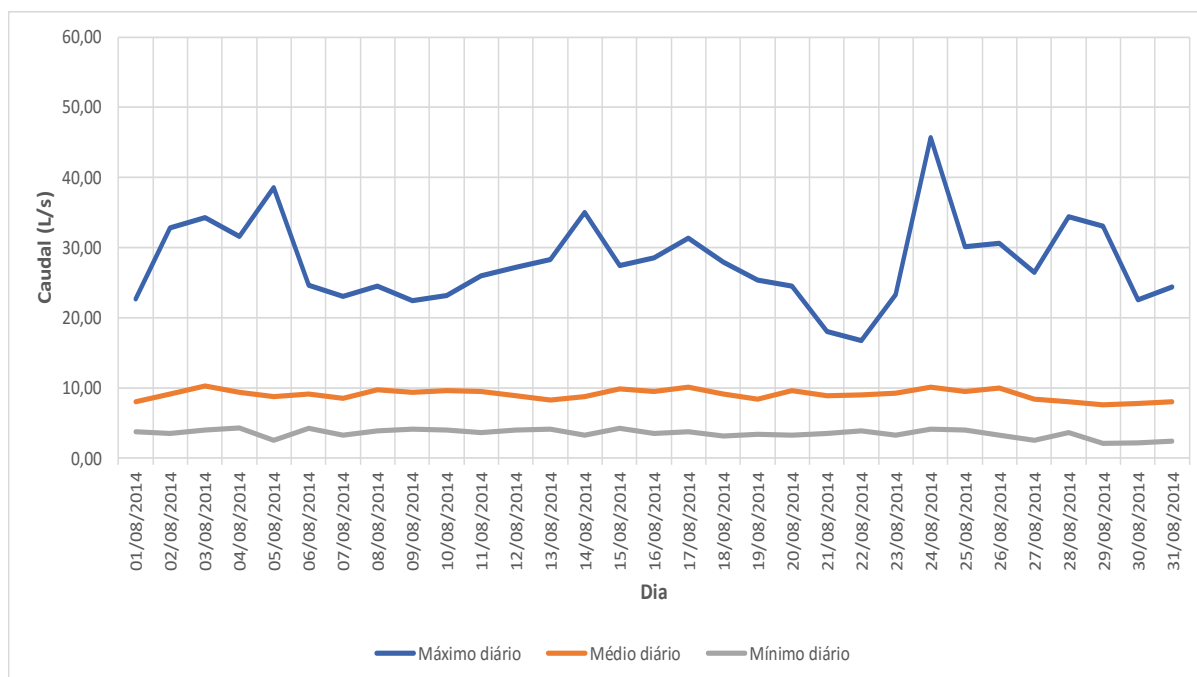


Figura 16 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de agosto de 2014

Na Figura 17 apresenta-se o caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de novembro de 2014 (mês húmido).

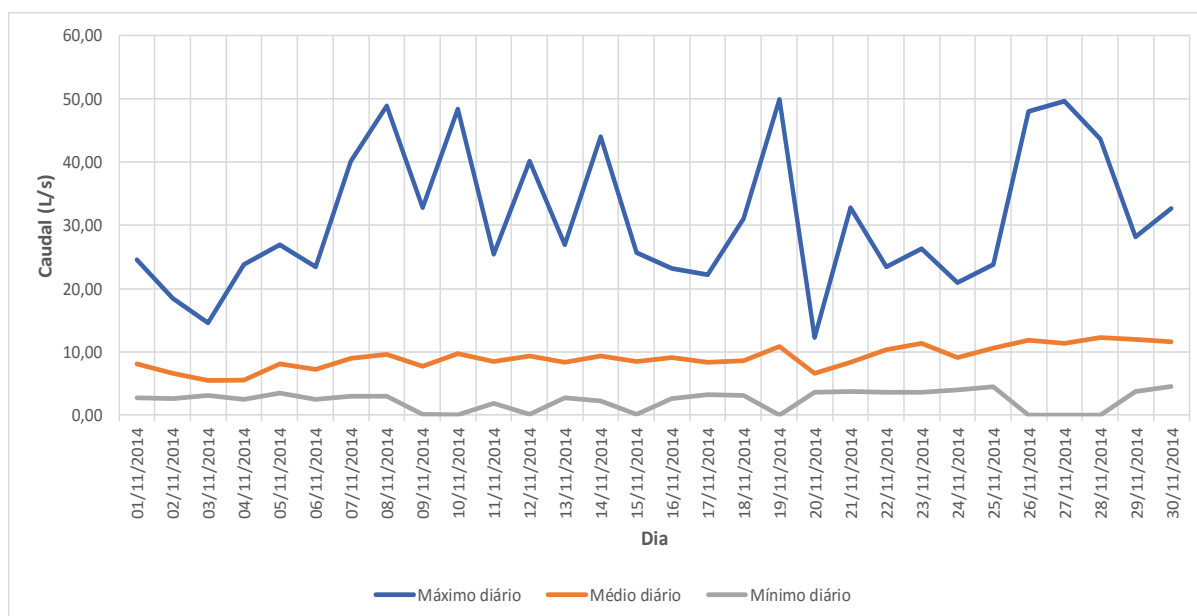


Figura 17 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de novembro de 2014

Na Figura 18 apresenta-se, no mesmo gráfico, os caudais máximos, médios e mínimos diários dos meses de agosto e novembro de 2014.

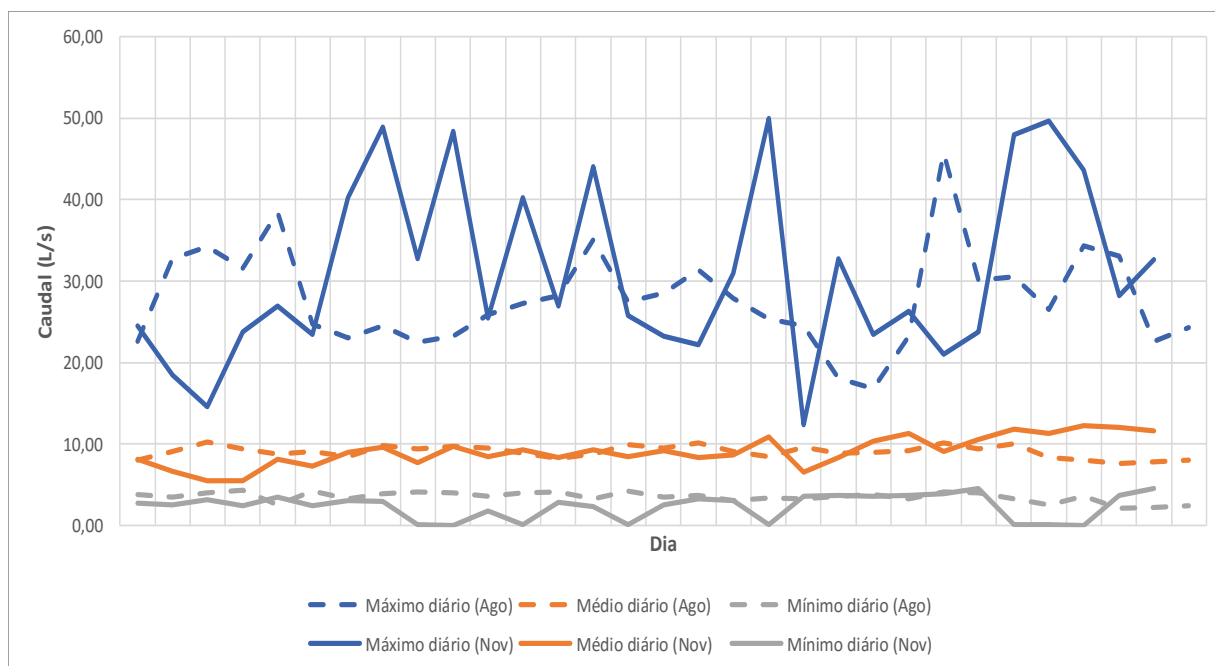


Figura 18 - Caudal máximo, médio e mínimo diário dos meses de agosto e novembro de 2014

De modo a validar os gráficos, efetuou-se a mesma análise para o ano de 2015, apresentando-se na Figura 19 o caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de agosto de 2015 (mês seco).

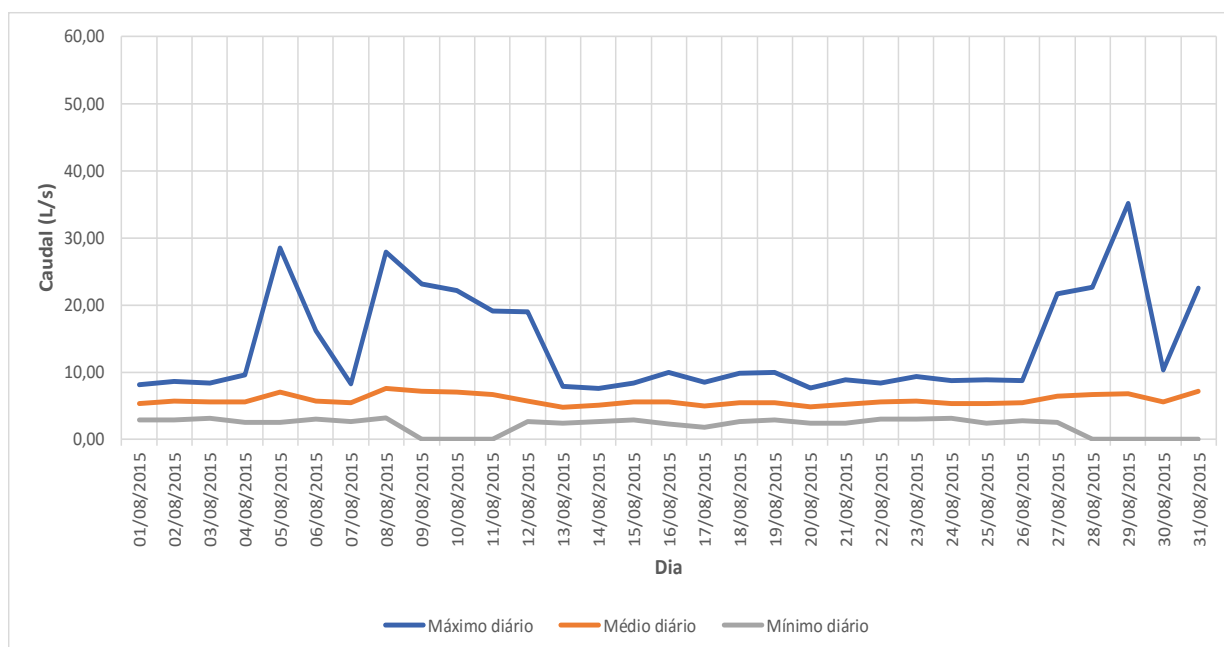


Figura 19 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de agosto de 2015

Na Figura 20 apresenta-se o caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de novembro de 2015 (mês húmido).

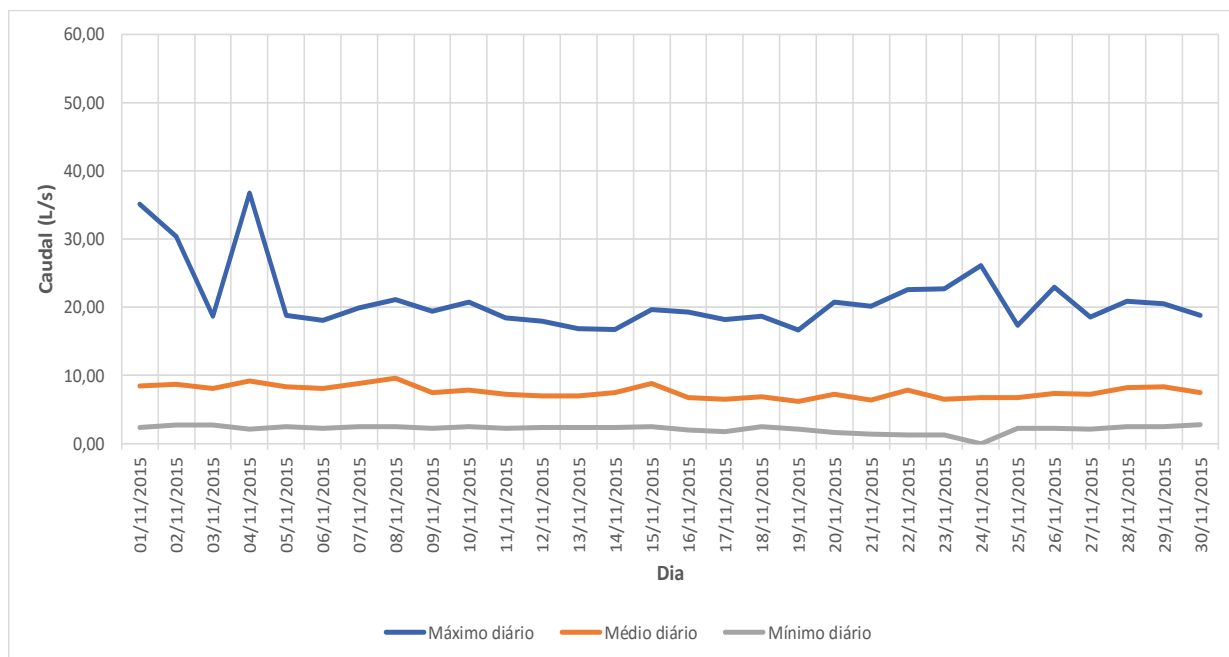


Figura 20 - Caudal máximo, médio e mínimo diário do mês de novembro de 2015

Nas Figuras 21 e 22 apresentam-se os caudais máximo, médio e mínimo diário dos meses de agosto e novembro de 2014 e 2015, respetivamente.

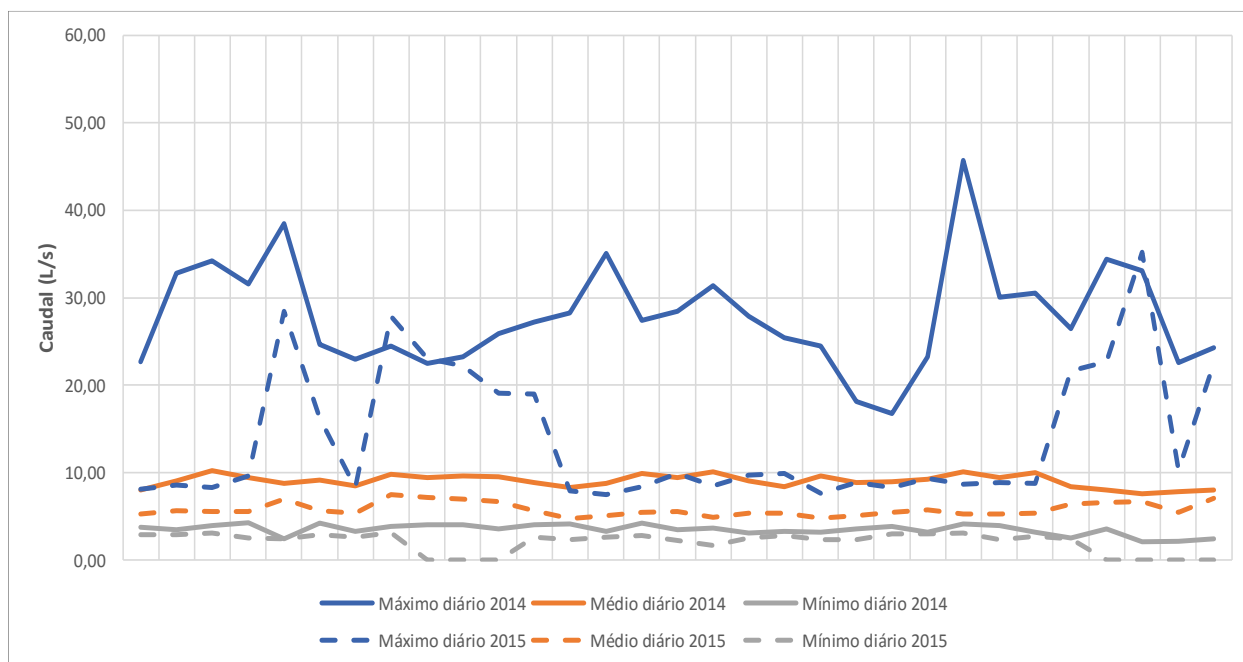


Figura 21 - Comparação dos caudais máximo, médio e mínimo diário dos meses de agosto de 2014 e 2015

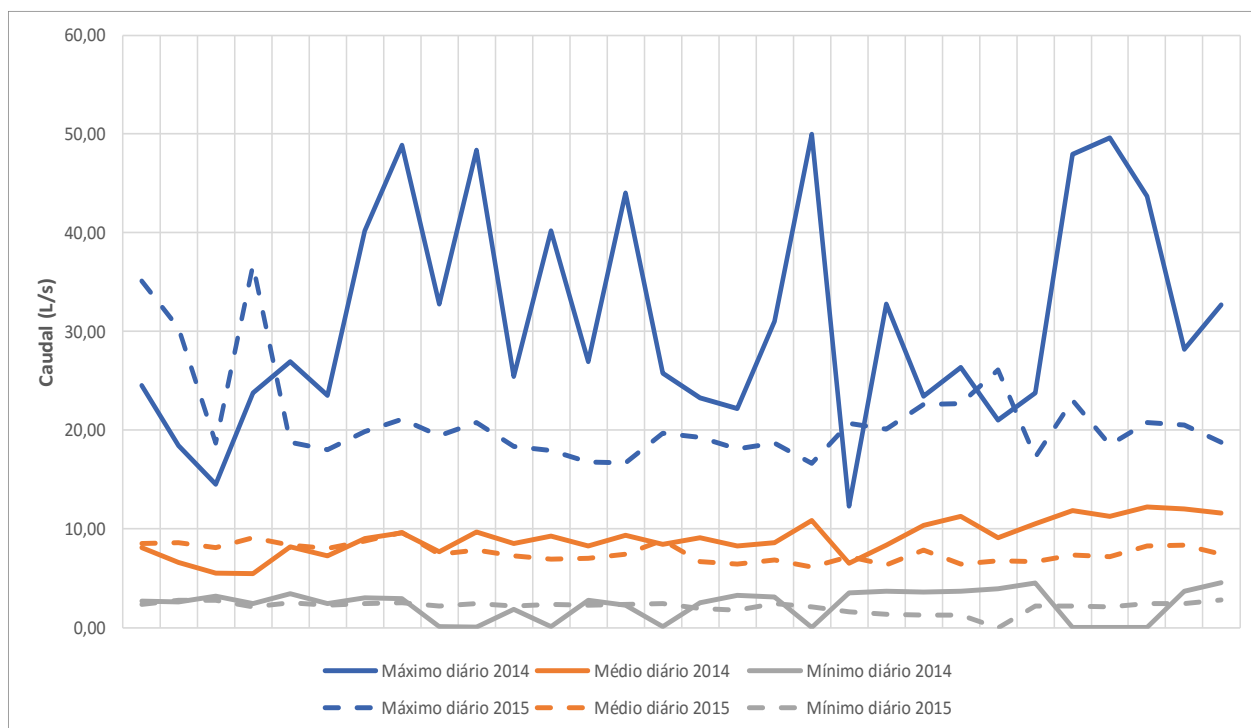


Figura 22 - Comparação dos caudais máximo, médio e mínimo diário dos meses de novembro 2014 e 2015

4.2.4. DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Os dados de precipitação foram obtidos a partir de um udómetro de recipiente basculante, instalado no concelho do Seixal, um concelho vizinho do Barreiro. No caso em estudo não estava disponível nenhum udómetro, pelo que esta se tratou de uma solução de recurso.

Estes dados foram cedidos pelo LNEC, no âmbito do projeto MOLINES. Estão disponíveis dados do dia 03 de fevereiro de 2014 a 04 de fevereiro de 2015, tendo sido possível aceder ao registo do instante de basculamento. Uma vez que os dados de caudal se referem apenas à segunda metade do ano de 2014, não serão utilizados os dados de precipitação da primeira metade desse ano. Na Figura 23 apresenta-se a precipitação diária medida no udómetro instalado no Seixal, nos meses de junho a dezembro de 2014.

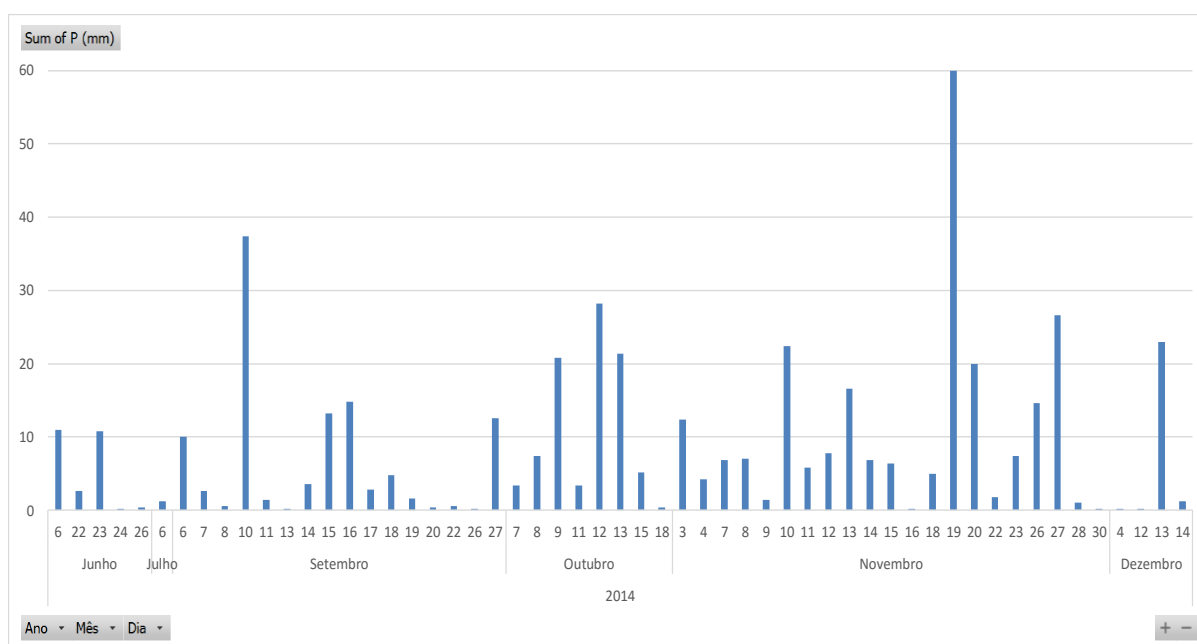


Figura 23 - Precipitação medida no udómetro nos meses de junho a dezembro de 2014

Durante os meses de junho a dezembro de 2014, foram medidos cerca de 482,2 mm de precipitação, tendo nos meses de verão (de junho a agosto) sido registado apenas cerca de 5% do volume total de precipitação. Os meses mais chuvosos são os meses de setembro e de novembro, com cerca de 106,8 mm e 234,4 mm, respetivamente. O dia com maior valor de precipitação é o dia 19 de novembro, com cerca de 60 mm (cf. Figura 23).

De acordo com o Boletim Climatológico Anual de 2014 do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), o ano de 2014 foi um ano muito chuvoso com um diferencial de +216,1 mm relativamente ao valor médio de precipitação total anual nacional de 1098,2 mm (em relação ao valor médio 1971-2000). A quantidade de precipitação em 2014 foi o valor mais alto dos últimos 25 anos.

Não existem dados de precipitação registados pelo udómetro instalado no Seixal para todo o ano de 2015. Foram adquiridos dados de precipitação diária referente ao ano de 2015 da estação meteorológica de Barreiro / Lavradio (01210766) do IPMA. Os dados mostram 86 dias com precipitação, totalizando 414,5 mm, sendo os meses mais chuvosos os de janeiro e outubro com cerca de 64 e 161,4 mm, respetivamente. Os meses mais secos foram os de julho e agosto com precipitação total de cerca de 3,1 e 3,9 mm, respetivamente. O valor de precipitação anual de 414,5 mm é bastante inferior ao normal. No entanto, de acordo com o boletim climatológico anual de 2015 do IPMA refere-se que no ano de 2015 o valor médio de precipitação total anual foi muito inferior ao valor normal (cerca de -282,5mm relativo à média nacional de 599,6 mm), sendo o sexto mais seco desde 1931 e o quarto mais seco desde 2000.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. MODELAÇÃO HIDRÁULICA

5.1.1. CONSTRUÇÃO DO MODELO EM TEMPO SECO

Para a construção do modelo hidráulico, como referido anteriormente, é necessária a introdução de dados de cadastro do sistema de drenagem da bacia piloto, tendo estes sido facultados pela Câmara Municipal do Barreiro (CMB).

De forma a construir o modelo hidráulico da rede em estudo, foi necessária a definição de um conjunto de objetos com a finalidade de descrever as características físicas detalhadas de todos os componentes da rede, tais como, coletores, câmaras de visita, uma estação elevatória, uma bomba e um poço de bombagem. Foi transferida a informação referente às coordenadas (M e P), comprimentos das câmaras de visita e coletores para um documento “.txt” e posteriormente para o programa SWMM.

Em alguns componentes deparou-se com ausência de informação ou dúvidas relativamente aos dados de cadastro. Nomeadamente, na base de dados constavam coletores com inclinação negativa, com diâmetro ou material desconhecidos ou com redução de diâmetro para jusante. De forma a verificar a consistência dos dados, confirmou-se com a CMB a informação em dúvida e, em caso de omissão, assumiram-se os dados como sendo idênticos aos do coletor de montante.

No que respeita ao sistema de drenagem, foram introduzidos no SWMM 443 câmaras de visita e 443 coletores.

Após esta etapa, foi necessário adicionar os dados relativos à componente hidráulica, como os referentes ao caudal.

Para adicionar o caudal médio em cada câmara de visita, foi necessário verificar quantos prédios debitavam água residual doméstica para cada câmara de visita. Para determinação do caudal médio associado a cada câmara de visita, é necessário determinar a população afluente, a capitação e o fator de afluência (Equação 1).

Para determinar a população, foi considerado que por cada piso havia dois fogos (esquerdo e direito) com uma densidade de 3 habitantes/fogo. Considerou-se inicialmente um valor de capitação conforme o artigo 13º do Decreto Regulamentar n.º 23/95 (i.e., 100 L/(hab.dia)), tendo-se considerado um fator de afluência à rede de coletores de 0,8.

Para a determinação de um hidrograma padrão de tempo seco, é necessário conhecer os hábitos de consumo de água na zona em estudo. Não tendo acesso a esses registos de consumos de água, o padrão diário de tempo seco de água residual doméstica utilizado baseou-se em Brito *et al.*, 2009, originando o hidrograma apresentado na Figura 24.

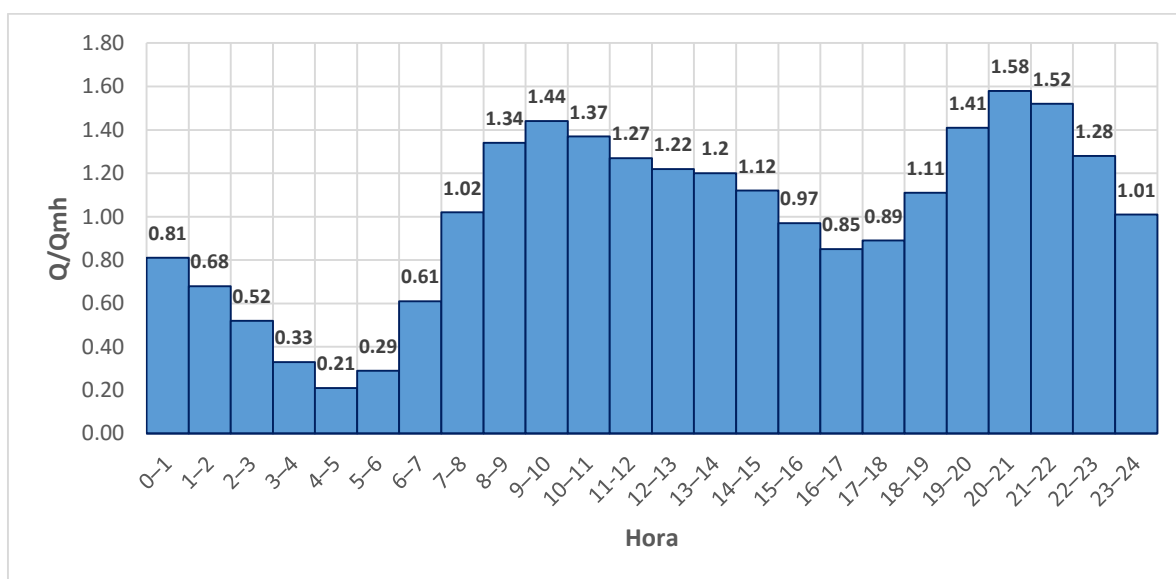


Figura 24 - Padrão diário de tempo seco

5.1.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO

De forma a se ajustar o caudal medido ao caudal simulado, foi necessário calibrar alguns parâmetros.

- Capitação

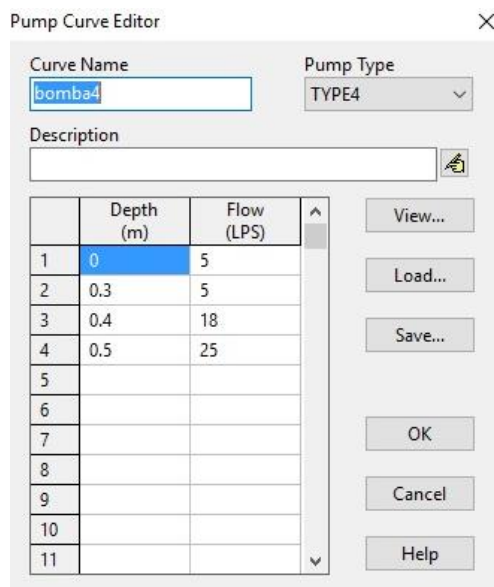
Numa primeira fase foi utilizada uma capitação de 100 L/(hab.dia), conforme referido. Por comparação entre os gráficos de caudal simulado e caudal medido, verificou-se que o caudal simulado era inferior. Como tal, foi-se aumentando a capitação, até se obter valores aceitáveis de erro. O valor final de capitação introduzida no SWMM é de 125 L/(hab.dia).

- Bomba/ Poço de bombagem

Foi adicionado um poço de bombagem do tipo cilíndrico com as características disponíveis nos dados base da instalação.

No SWMM esta instalação foi modelada através de um componente do tipo “Storage Unit” onde se considerou uma curva de armazenamento (“Storage Curve”) do tipo “Functional”. Como parâmetros descritores do poço de bombagem foi considerado um coeficiente igual a 4,15 (correspondente à área em planta em m²) e um expoente igual a 1 (correspondente a uma secção sem variação em altura). Adicionalmente, a bomba foi modelada considerando uma curva do tipo 4. Este tipo de curva da bomba estabelece a relação entre o caudal bombado (em L/s) e a profundidade de água residual (em m) na caixa de visita a montante. Após calibração, a curva da bomba apresenta as características constantes na Figura 25, que foram sendo ajustadas.

Ainda relativamente à bomba, foram adicionados controlos, nomeadamente: se a altura de água no poço for igual ou superior a 0,5 m a bomba entra em funcionamento; se a altura da água for menor que 0,10 m a bomba é desligada. Estes valores foram igualmente sendo ajustados ao longo do processo de calibração.



Pump Curve Editor

Curve Name:

Pump Type:

Description:

	Depth (m)	Flow (LPS)
1	0	5
2	0.3	5
3	0.4	18
4	0.5	25
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

View... Load... Save... OK Cancel Help

Figura 25 – Curva característica da bomba

Após introdução dos dados necessários para caracterização do sistema de drenagem, obteve-se o modelo da rede ilustrado na Figura 26, onde o número 1 assinala a localização da estação elevatória, o número 2 o local onde está situado o medidor e o número 3 a seção terminal da rede.

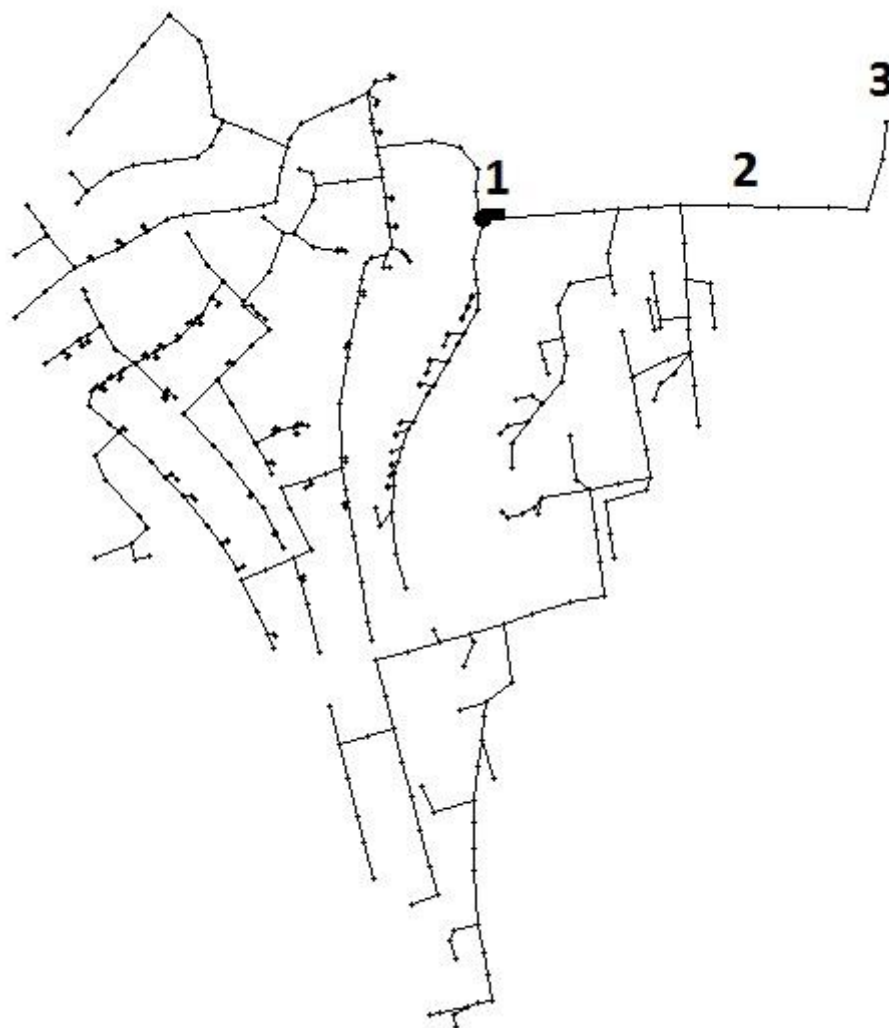


Figura 26 - Rede de saneamento em estudo

Tendo a bacia em estudo uma ocupação maioritariamente habitacional, é possível que o hidrograma padrão em dias de semana seja diferente do hidrograma padrão nos dias de fim-de-semana. Estando apenas disponível um padrão típico de dia de semana, teve-se esse cuidado na escolha dos dias de tempo seco para calibração.

Para a seleção dos dias de tempo seco, é necessário ter em consideração não apenas que os registos de precipitação nesses dias são nulos, mas também que não se verifica escoamento retardado na bacia proveniente de precipitação em dias anteriores. Assim sendo, selecionaram-se, como cenário para calibração do modelo em tempo seco, os dias em que não houve qualquer precipitação durante pelo menos três dias, salvaguardando que o caudal drenado na rede corresponde ao proveniente da drenagem doméstica. Interessa ainda que os dias de tempo seco selecionados para calibração sejam representativos do funcionamento normal da rede de drenagem, tendo sido preteridos dias em que se verificou qualquer ocorrência pontual que provocasse alteração no hidrograma (por exemplo, uma descarga de

uma piscina com caudal elevado). Escolheram-se pelo menos 3 dias de tempo seco, preferencialmente não sequenciais.

O ajuste entre o caudal simulado e o caudal medido foi feito até se verificar uma correspondência aceitável entre ambos, para os vários dias em análise. O ajustamento foi avaliado através do cálculo do erro volumétrico e da comparação gráfica entre as séries de caudal.

Para a seleção dos dias de tempo seco, de forma a que o escoamento retardado não influenciasse a análise, foram identificados dias sem registo de precipitação nos três dias antecedentes. Deste modo, os dias selecionados para calibração foram: 09 de março de 2015, 20 de julho de 2015, 20 de agosto de 2015, 21 de setembro de 2015 e 27 de outubro de 2015. Todos estes dias são dias de semana, sendo possível observar o caudal destes dias no ANEXO A. Embora estando disponíveis dados de 2014, estes não foram utilizados. Sendo o hidrograma padrão em 2014 substancialmente diferente do padrão de 2015, e tendo sido equacionada em reunião com a entidade gestora a possibilidade de ter havido uma qualquer alteração no funcionamento da bomba em 2014, decidiu-se por usar apenas os dados de caudal de 2015.

Na Figura 27 apresenta-se graficamente os caudais dos dias mencionados e o caudal simulado, ao longo de um dia.

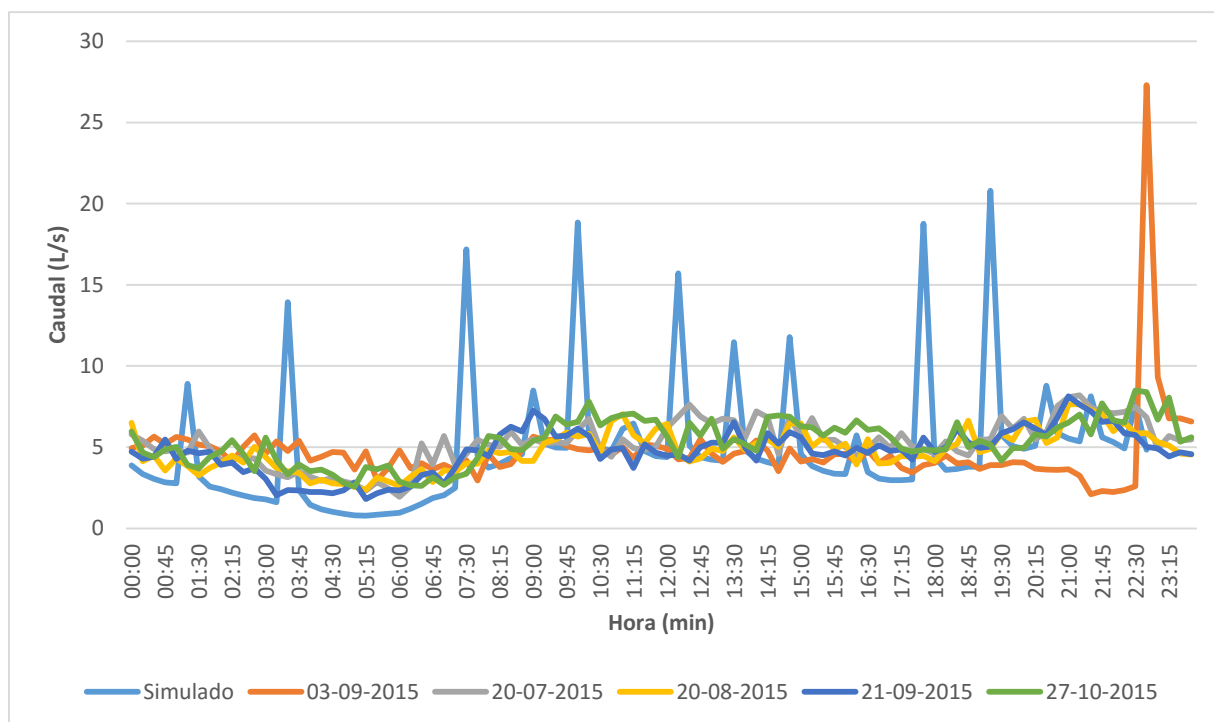


Figura 27 - Comparação de valores de caudal simulado e nos dias em estudo ao longo do dia

Verifica-se graficamente que o caudal simulado apresenta picos de caudal mais acentuados e numerosos do que o caudal medido nestes dias. Esta questão prende-se com a caracterização do sistema de bombagem a montante, nomeadamente no que respeita à curva

característica da bomba e às condições de paragem e arranque da bomba. Foram simuladas várias alternativas em testes preliminares, e verificou-se que com condições de paragem e arranque mais semelhantes entre si (o que atenuaria os picos de caudal), o modelo não simulava. Verificaram-se inconsistências hidráulicas, provavelmente introduzidas por se estar perante coletores de reduzida seção perante uma onda de cheia rápida. Mesmo para as condições de bombagem apresentadas, foi necessário reduzir o passo de cálculo para 1 segundo, condição mínima permitida pelo *software*, para garantir a simulação. Testaram-se ainda outras alternativas, como por exemplo, a definição de condições de arranque prévias da simulação, mas não se beneficiou esta questão.

Optou-se por assegurar que em tempo seco o volume de água residual é semelhante ao medido, garantindo erros volumétricos aceitáveis, em detrimento de um bom ajuste dos caudais máximos.

Em tempo seco, para os diferentes dias calculados, obtiveram-se os seguintes erros volumétricos descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Erros volumétricos referentes aos dias de tempo seco

Dias de tempo seco	Erro volumétrico
09/03/2015	-7%
20/07/2015	4%
20/08/2015	-5%
21/09/2015	-7%
27/10/2015	5%

Considera-se que os resultados obtidos para os erros volumétricos são bastante satisfatórios.

Com as reservas apresentadas em relação ao funcionamento do sistema de bombagem, verificou-se que nas condutas a montante do poço, a simulação deu caudais negativos. Isto deve-se ao facto de o poço encher, a bomba não ter capacidade para o caudal afluente e nos troços a montante haver escoamento em sentido contrário.

5.1.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO EM TEMPO DE CHUVA

Com base na informação de cadastro fornecida pela Câmara Municipal do Barreiro, foram adicionadas cinco sub-bacias hidrográficas na rede em estudo, no programa SWMM, conforme ilustrado pela Figura 28. As sub-bacias em estudo possuem as designações e características apresentadas no Quadro 7.

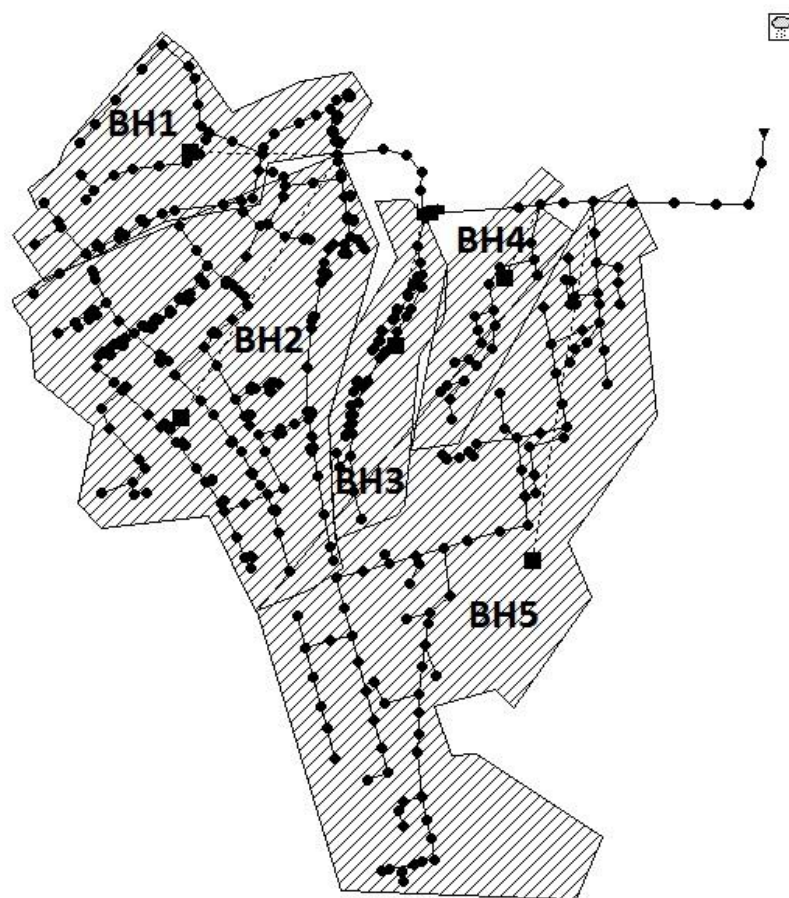


Figura 28 - Sistema modelado em tempo de chuva

Quadro 7 - Características das sub-bacias em estudo

Sub-bacias	Área (ha)	Nó de saída	Largura (m)	Inclinação (%)	Área Impermeável (%)	N da área impermeável ($m^{-1/3}.s$)	N da área permeável ($m^{-1/3}.s$)
BH1	6,3	J3	307,4	0,05	25	0,01	0,1
BH2	15,19	J3	511,7	0,04	25	0,01	0,1
BH3	4,18	J7	100	0,05	25	0,01	0,1
BH4	3,14	J9	117,4	0,08	25	0,01	0,1
BH5	20,31	J11	454,9	0,03	25	0,01	0,1

Como ponto de partida, considerou-se que todas as sub-bacias contribuiriam com caudal pluvial gerado em toda a sua área para a rede doméstica, e que eram constituídas por 25% de superfície impermeável. Igualmente para toda a rede, considerou-se uma rugosidade para o escoamento superficial sobre a sub-área impermeável de $0,01 m^{-1/3}.s$ e uma rugosidade para o escoamento superficial sobre a sub-área permeável de $0,1 m^{-1/3}.s$.

Tal como descrito anteriormente, os eventos de precipitação foram caracterizados em relação à sua duração, precipitação acumulada, intensidade média, intensidade máxima e o tempo seco anterior. Para os registos disponíveis, identificaram-se 45 eventos de precipitação, cujas características se apresentam no Quadro 8.

Quadro 8 - Características dos eventos de precipitação

Características dos eventos de precipitação	Mínimo	Média	Máximo
Duração	5,0 min	35,6 min	5 horas
P _{acum.} (mm)	0,5	4,2	33,3
i _{méd.} (mm/h)	2,3	8,8	27,6
i _{máx.} (mm/h)	6,0	16,9	69,6
Tempo seco anterior	0,7 h	56,9 h	45 dias

Uma vez que o udômetro disponível não pertencia à bacia em estudo, apenas interessou considerar os eventos cujo efeito na medição de caudal na bacia em estudo era evidente. Optou-se pela seleção de três dias de tempo de chuva distintos, com diversos eventos dependentes em cada dia.

Utilizaram-se dados de 2014 para estimar a percentagem de área impermeável das sub-bacias que contribuem com água pluvial, uma vez que é o período para o qual se dispõe de dados de precipitação. Com este estudo, determinam-se as percentagens da área de bacia efetivamente ligada à rede de drenagem (%Aimp). Conforme referido, esta percentagem pode variar de evento para evento. Como cenário de simulação de tempo de chuva, especificaram-se três valores de %Aimp (mínimo, médio e máximo). A área de bacia efetivamente ligada obtém-se através do produto da área de cada bacia pelas percentagens estipuladas como cenários (%Aimp₁, %Aimp₂ e %Aimp₃).

5.2. DIAGNÓSTICO DO SISTEMA

5.2.1. RESULTADOS EM TEMPO SECO

Como referido anteriormente, o sistema deve possuir características que respeitem os limites regulamentares. Relativamente à zona em estudo, só é respeitado na íntegra o limite de diâmetro mínimo, uma vez que no que diz respeito às outras características, uma percentagem mínima de coletores não está de acordo com os limites regulamentares. Nos Quadros 9 e 10 é possível verificar as características do sistema da zona em estudo e a percentagem de componentes (coletores ou câmaras de visita, conforme aplicável) que cumprem os limites regulamentares.

Quadro 9 - Características do sistema em estudo

Características do Sistema				
L _{máx.} (m)	i _{máx.} (%)	i _{min.} (%)	D _{min.} (mm)	ST _{min.} (m)
119,94	22	0	200	0,5

Legenda: L = comprimento do coletor; i_{máx} = inclinação máxima do coletor;
i_{min} = inclinação mínima do coletor; D_{min} = Diâmetro mínimo do coletor;
ST_{min} = profundidade mínima do coletor.

Quadro 10 – Percentagem de componentes que cumprem cada característica física regulamentar

Características do sistema	L máx.	i máx.	i min.	DN min.	ST min.
Percentagem que cumpre (%)	99,3	98,9	80,6	100	96,6

Legenda: L = comprimento do coletor; $i_{máx}$ = inclinação máxima do coletor;
 i_{min} = inclinação mínima do coletor; D_{min} = Diâmetro mínimo do coletor;
 ST_{min} = profundidade mínima do coletor.

Relativamente ao comprimento máximo de cada troço, foi possível verificar que apenas quatro troços ultrapassam o limite máximo de 60 metros. Na Figura 29 é possível visualizar os troços que estão em incumprimento.

No que diz respeito às inclinações máximas e mínimas, existem 5 troços que têm inclinação superior ao exigido e 86 que têm inclinação inferior. É possível verificar na Figura 30 os troços em incumprimento, onde os troços com inclinações superiores estão assinalados a vermelho. Os diâmetros mínimos são respeitados em toda a rede, verificando-se o diâmetro de 200 mm no coletor com menor diâmetro.

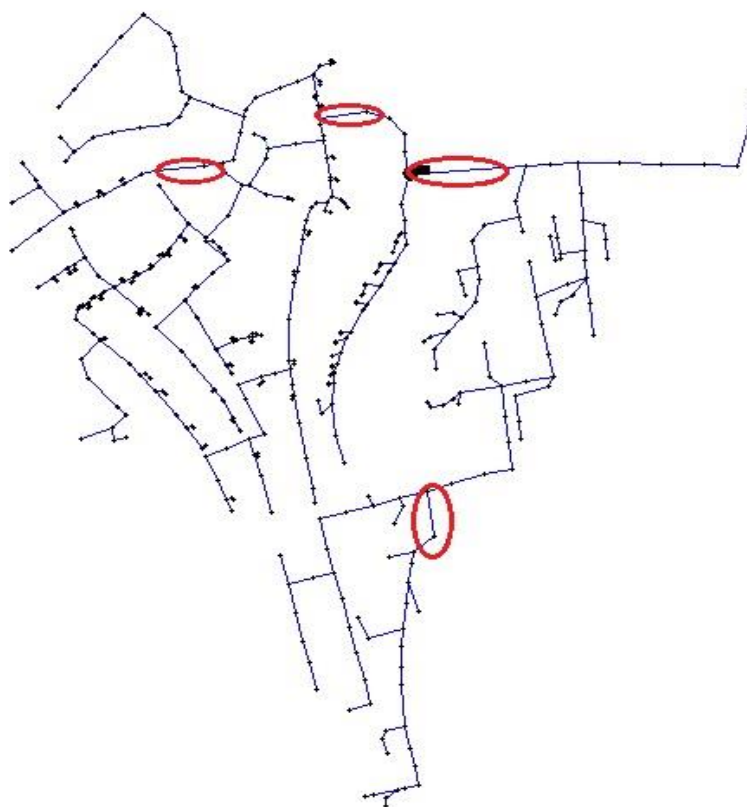


Figura 29 - Planta da rede em estudo com identificação dos troços que possuem comprimento superior a 60m

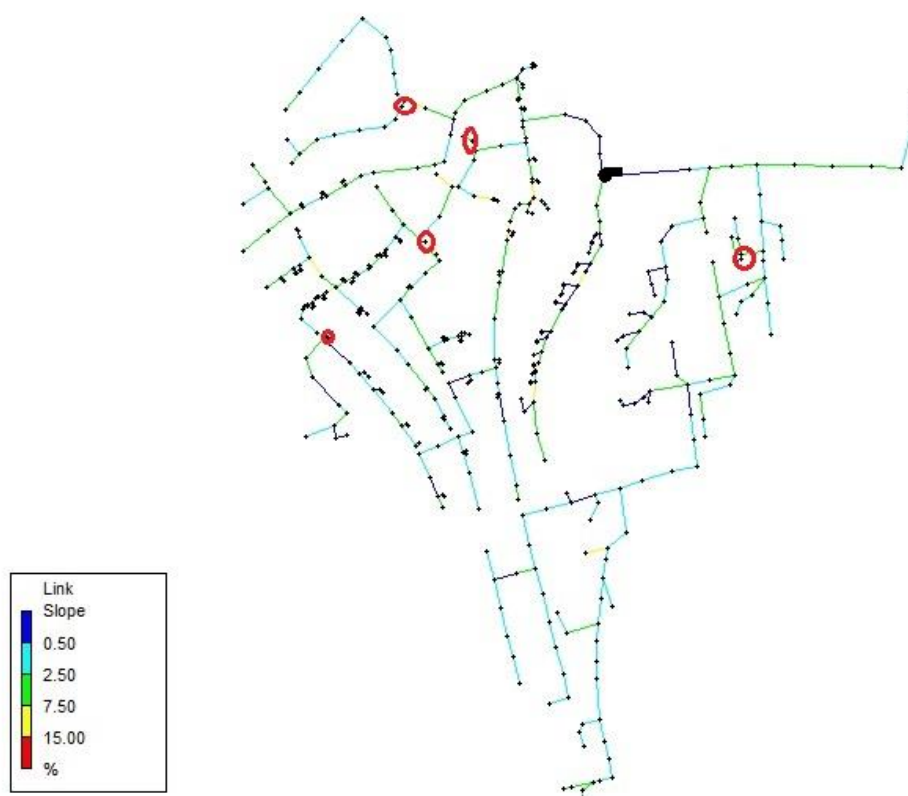


Figura 30 - Planta da rede em estudo com identificação dos troços que possuem inclinações indevidas máximas ou mínimas

O funcionamento hidráulico do sistema foi analisado com base nos resultados do modelo. Em termos dos limites regulamentares relativos ao escoamento em tempo seco, refere-se que estes só são cumpridos na íntegra no que respeita a velocidades máximas, como é possível observar-se no Quadro 11. Relativamente à velocidade mínima, tal como descrito anteriormente, esta só foi determinada nos troços imediatamente a jusante de cada bacia (4 troços) enquanto que a velocidade máxima e a altura de escoamento relativa foram determinadas em todos os troços da rede (443 troços). Dos quatro coletores observados, apenas um cumpre o limite mínimo, apresentando um desses coletores velocidades negativas, ou seja, tem sentido de escoamento contrário ao traçado no modelo. Conforme exposto anteriormente, este troço localiza-se a montante da estação elevatória. A altura de escoamento relativa (h/D) máxima é cumprida na maioria da rede com 98,2% dos troços a respeitar os limites regulamentares, como é possível verificar no Quadro 12.

Quadro 11 - Resultados da zona em estudo em tempo seco

$v_{\min.}$ (m/s)	$v_{\max.}$ (m/s)	h/D máx.
-0,03	2,0	1,0
Não cumpre	Cumpre	Não cumpre

Legenda: v_{\min} = velocidade máxima do escoamento; v_{\max} = velocidade mínima do escoamento; h/D_{\max} = altura de escoamento relativa máxima

Quadro 12 - Percentagem de cumprimento dos limites regulamentares da zona em estudo em tempo seco

Limites regulamentares em tempo seco	v min. (m/s)	v máx. (m/s)	h/D máx.
Percentagem de componentes que cumpre	9,1	100	98,2

Legenda: v_{\min} = velocidade máxima do escoamento; v_{\max} = velocidade mínima do escoamento;
 h/D_{\max} = altura de escoamento relativa máxima

5.2.2. RESULTADOS EM TEMPO DE CHUVA

De entre os 45 eventos disponíveis, optou-se por três dias de tempo de chuva. Em cada um destes dias ocorreram vários eventos de precipitação, que se optou por analisar conjuntamente, como eventos dependentes sob o ponto de vista do seu impacto no caudal escoado no coletor. Nestes três dias (Dia 1: 10 de setembro de 2014; Dia 2: 12 de outubro de 2014; Dia 3: 13 de outubro de 2014) ocorreram 11 eventos de precipitação, os quais estão descritos no Quadro 13. Sublinha-se novamente que apenas estavam disponíveis dados de precipitação de 2014.

Quadro 13 - Características dos eventos de precipitação ocorridos nos três dias selecionados

Dia	Evento de Precipitação	Data de início	Data de fim	Duração (min)	P _{acum.} (mm)	i méd. (mm/h)	i máx. (mm/h)	Tempo seco anterior (h)
Dia 1	p6	10/09/2014 09:20	10/09/2014 10:55	95,0	14,6	9,2	31,2	55,6
	p7	10/09/2014 13:00	10/09/2014 13:05	5,0	1,6	19,2	19,2	2,2
	p8	10/09/2014 16:15	10/09/2014 16:35	20,0	1,3	3,9	7,2	3,3
Dia 2	p25	12/10/2014 00:10	12/10/2014 00:15	5,0	2,3	27,6	27,6	1,3
	p26	12/10/2014 06:40	12/10/2014 06:45	5,0	1,4	16,8	16,8	6,5
	p27	12/10/2014 07:25	12/10/2014 09:40	135,0	16,1	7,2	34,8	0,8
	p28	12/10/2014 10:15	12/10/2014 10:50	35,0	3,2	5,5	19,2	0,7
	p29	12/10/2014 11:50	12/10/2014 12:10	20,0	1,6	4,8	7,2	1,1
	p30	12/10/2014 17:55	12/10/2014 18:00	5,0	0,5	6,0	6,0	5,8
Dia 3	p31	13/10/2014 10:05	13/10/2014 10:25	20,0	2,5	7,5	9,6	16,2
	p32	13/10/2014 14:25	13/10/2014 16:20	115,0	32,0	16,7	69,6	4,1

Legenda: P_{acum} = Precipitação acumulada (mm); i_{méd} = intensidade de precipitação média (mm/h); i_{máx} = intensidade de precipitação máxima (mm/h).

Comparando os eventos dos três dias em análise, verifica-se que a precipitação acumulada vai aumentando o seu valor máximo, assim como a intensidade máxima de precipitação, do Dia 1 ao Dia 3. Do estudo da área impermeável contributiva com caudais pluviais (%Aimp), verifica-se que esta corresponderia a valores entre 16% e 38%. Assim sendo, optou-se pelos

cenários com %Aimp₁ de 16%, %Aimp₂ de 27%, e %Aimp₃ de 38%. Efetuou-se simulação para cada um dos dias de tempo de chuva escolhidos e para a área contributiva para cada cenário, obtida em cada bacia pelo produto da respectiva área por cada valor de %Aimp.

Quadro 14 – Área contributiva de cada sub-bacia, em cada cenário

Sub-bacia	Área (ha)	Área da sub-bacia (ha) com %Aimp variável		
		%Aimp ₁ = 16%	%Aimp ₂ = 27%	%Aimp ₃ = 38%
BH1	6,3	1,01	1,70	2,39
BH2	15,19	2,43	4,10	5,77
BH3	4,18	0,67	1,13	1,59
BH4	3,14	0,50	0,85	1,19
BH5	20,31	3,25	5,48	7,72

Em síntese, para a modelação em tempo de chuva são simulados nove cenários (C), de acordo com o Quadro 15.

Quadro 15 - Identificação dos cenários de tempo de chuva

	Dia 1	Dia 2	Dia 3
% Aimp 1	C11	C12	C13
% Aimp 2	C21	C22	C23
% Aimp 3	C31	C32	C33

Apresentam-se nas Figuras 31 a 33, a título de exemplo, os valores de precipitação medida e os hidrogramas de caudal simulados nos dias de chuva selecionados (Qtc), comparativamente com o caudal de tempo seco (Qts). Em qualquer um destes gráficos é perceptível o aumento de caudal por afluência de águas pluviais.

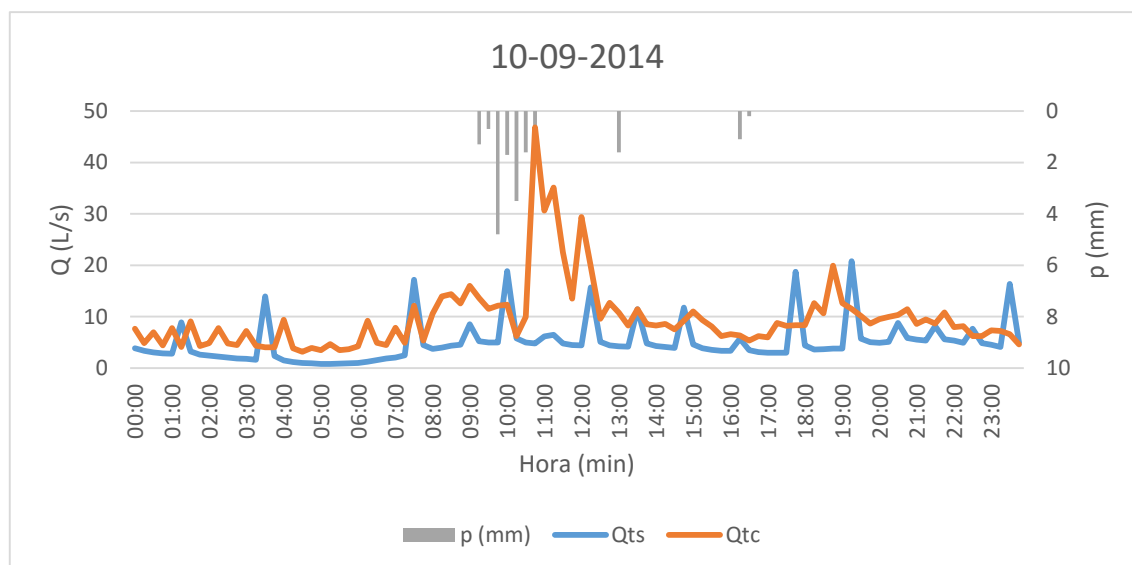


Figura 31 - Caudal simulado (Qtc) e precipitação no Dia1, e caudal de tempo seco (Qts)

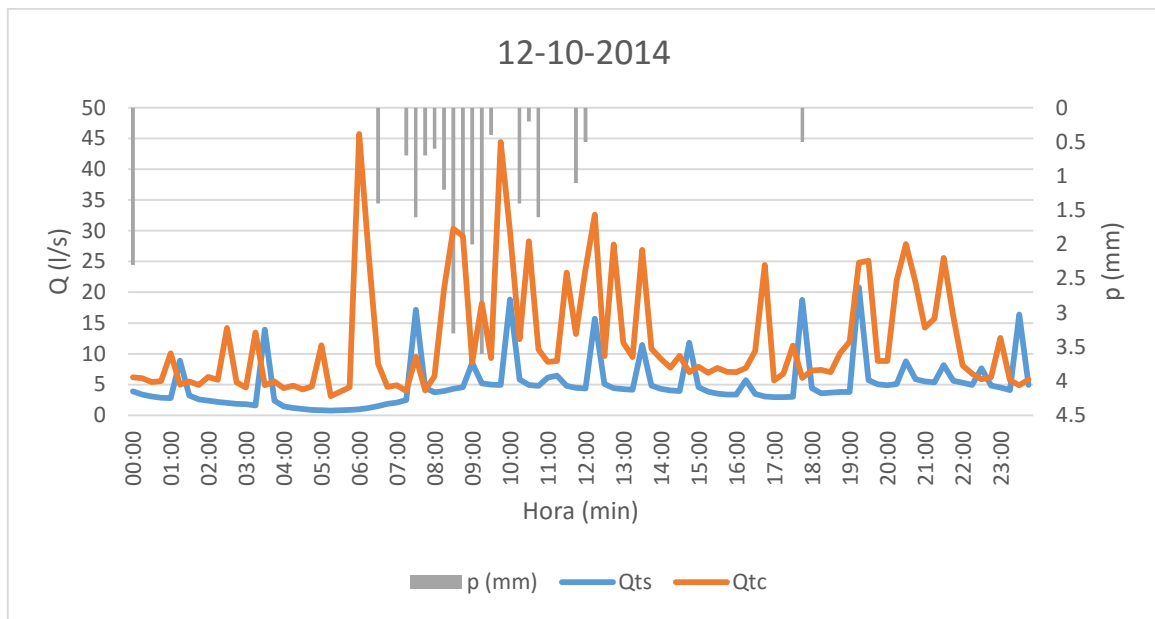


Figura 32 - Caudal simulado (Qtc) e precipitação no Dia 2, e caudal de tempo seco (Qts)

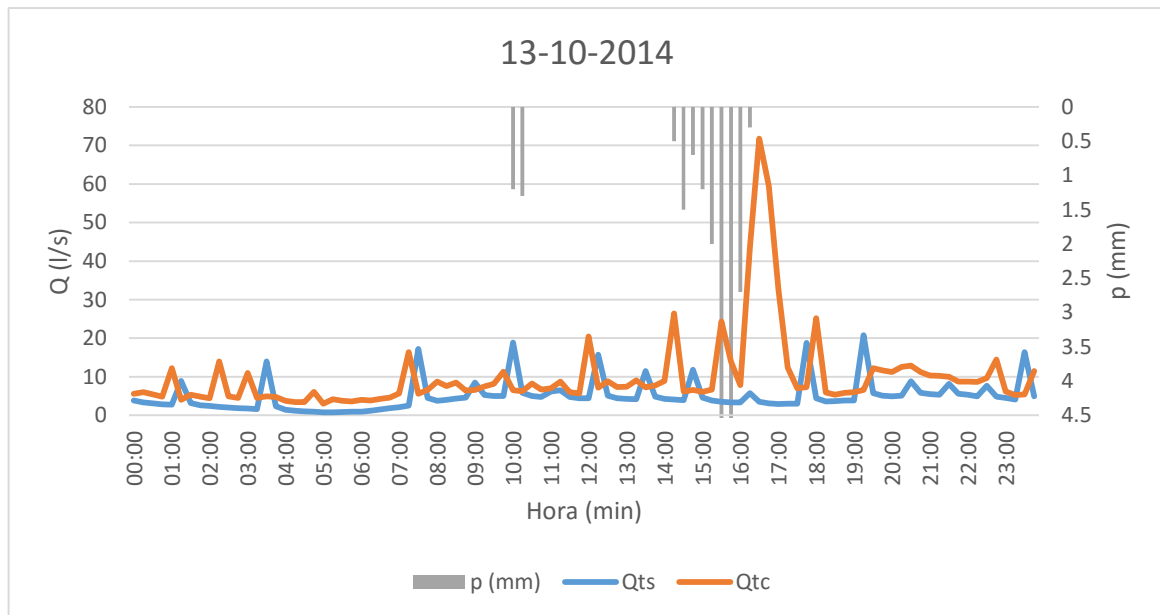


Figura 33 - Caudal simulado (Qtc) e precipitação no Dia 3, e caudal de tempo seco (Qts)

Apresentam-se de seguida os resultados relativos aos modelos correspondentes aos cenários estabelecidos no Quadro 16. Para cada cenário, apresentam-se os resultados em relação a cada critério (v min, v máx e h/D máx), faz-se referência ao cumprimento (ou não) do limite regulamentar e especifica-se a percentagem da rede (em relação ao número de troços) que cumpre com o mesmo limite.

Quadro 16 - Resultados de v_{min} , $v_{máx}$ e h/D $máx$ relativos aos diferentes cenários de tempo de chuva

%Aimp	Cenário e dia	v_{min} (m/s)	$v_{máx}$ (m/s)	h/D $máx$
16%	C11: Dia 1	-0,04	2,07	1,0
		Não cumpre	Cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 100%	Cumpre 98,2%
	C12: Dia 2	-0,24	2,06	1,00
		Não cumpre	Cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 100%	Cumpre 98,2%
	C13: Dia 3	-0,05	2,25	1,00
		Não cumpre	Cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 100%	Cumpre 97,7%
27%	C21: Dia 1	-0,15	3,47	1,00
		Não cumpre	Não cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 99,3%	Cumpre 93,0%
	C22: Dia 2	-0,25	3,19	1,00
		Não cumpre	Não cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 99,3%	Cumpre 91,6%
	C23: Dia 3	-0,06	3,47	1,00
		Não cumpre	Não cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 98,4%	Cumpre 87,1%
38%	C31: Dia 1	-0,03	2,12	1,00
		Não cumpre	Cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 100%	Cumpre 98,2%
	C32: Dia 2	-0,02	2,15	1,00
		Não cumpre	Cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 100%	Cumpre 98,2%
	C33: Dia 3	-0,06	2,38	1,00
		Não cumpre	Cumpre	Não cumpre
		Cumpre 9,1%	Cumpre 100%	Cumpre 97,5%

Em síntese destaca-se que as velocidades máximas e a altura de escoamento relativa máxima na sua maioria são verificadas de acordo com os limites regulamentares. Só não cumpre na íntegra em termos de velocidade máxima no cenário de 27% de área contributiva e na altura de escoamento relativa máxima.

Muito embora as velocidades mínimas não sejam cumpridas em bastantes troços, esta questão não é tão relevante em tempo de chuva como em tempo seco. Verifica-se que em qualquer um dos cenários há sempre alguns troços que entram em carga, embora apenas uma pequena percentagem e com pouca duração, excetuando os eventos com 27% de área contributiva. Relativamente ao número de câmaras de visita com descarga para o exterior,

nos cenários de 16% e 38% de área contributiva, existem poucos coletores com descarga, mas com elevada duração. No sentido inverso, com 27%, existe um número elevado de coletores em descarga, mas com pouca duração, como é possível verificar no Quadro 17.

Quadro 17 – Câmaras de visita e coletores em carga e respetivas durações máximas

%Aimp	Cenário e dia	Número de câmaras de visita com descarga para o exterior	Duração máxima de descarga (h)	Percentagem de coletores em carga (%)	Duração máxima da carga (h)
16%	C11: Dia 1	4	40,00	1,35	0,01
	C12: Dia 2				
	C13: Dia 3	6		1,58	
27%	C21: Dia 1	23	0,92	5,19	1,00
	C22: Dia 2	30	1,03	6,77	1,00
	C23: Dia 3	48	1,54	10,84	1,00
38%	C31: Dia 1	5	31,84	1,35	0,10
	C32: Dia 2	5	32,66	1,35	0,10
	C33: Dia 3	8	32,05	1,81	0,10

5.2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO

Para o cálculo da estatística dos indicadores de desempenho, não foram considerados os troços de cabeceira que não transportam caudal, tanto em tempo seco como em tempo de chuva, uma vez que esta característica é uma consequência da simplificação efetuada na determinação da câmara de visita que recebe a água residual proveniente dos prédios. Conforme referido em 3.3.3, para alguns indicadores foi efetuada uma avaliação integral, e para outros foi efetuada uma avaliação por bacia. Para os indicadores para os quais se pode efetuar uma avaliação integral, apresenta-se uma apreciação da percentagem de troços com prioridade de atuação baixa, média e alta no respetivo indicador. Para os indicadores com avaliação por bacia, apenas é possível apresentar os respetivos valores mínimo, máximo e a média.

ID 1 – relação entre caudal mínimo e caudal de secção cheia

Para o ID1, que recorre aos valores de caudal mínimo, foi efetuada uma avaliação por bacia. Nesses troços, o ID1 apresenta sempre um valor reduzido, conforme apresentado no Quadro 18. Nesta situação, o nível de prioridade é baixo, uma vez que os valores máximos obtidos são inferiores a 25%.

Quadro 18 - Valores mínimo, média e máximo do ID1 para os troços em estudo

%	Mínimo	Média	Máximo
Tempo seco	0,03	1,6	10,4

De qualquer forma, salienta-se que o troço 66 (ilustrado na Figura 34) é o que apresenta maior valor de ID1, sendo este o troço a montante da câmara de visita onde vão ligar as bacias BH1 e BH2, o que poderá constituir indício da presença de infiltração.



Figura 34 - Troço com maior valor de ID1

ID 2 - relação entre caudal máximo (em tempo seco) e caudal de secção cheia

No que respeita ao ID2, foi efetuada uma avaliação integral. Da totalidade dos troços no modelo, nove estão classificados como sendo de prioridade alta, uma vez que apresentam ID2 superior a 100% (109, P3, P4, P5, P9, P10, P14, P15 e P32), o que permite concluir que há troços na rede (como é possível verificar na Figura 35) que entram em carga em tempo seco, sem qualquer solicitação excecional. Este comportamento pode comprometer o desempenho do sistema.

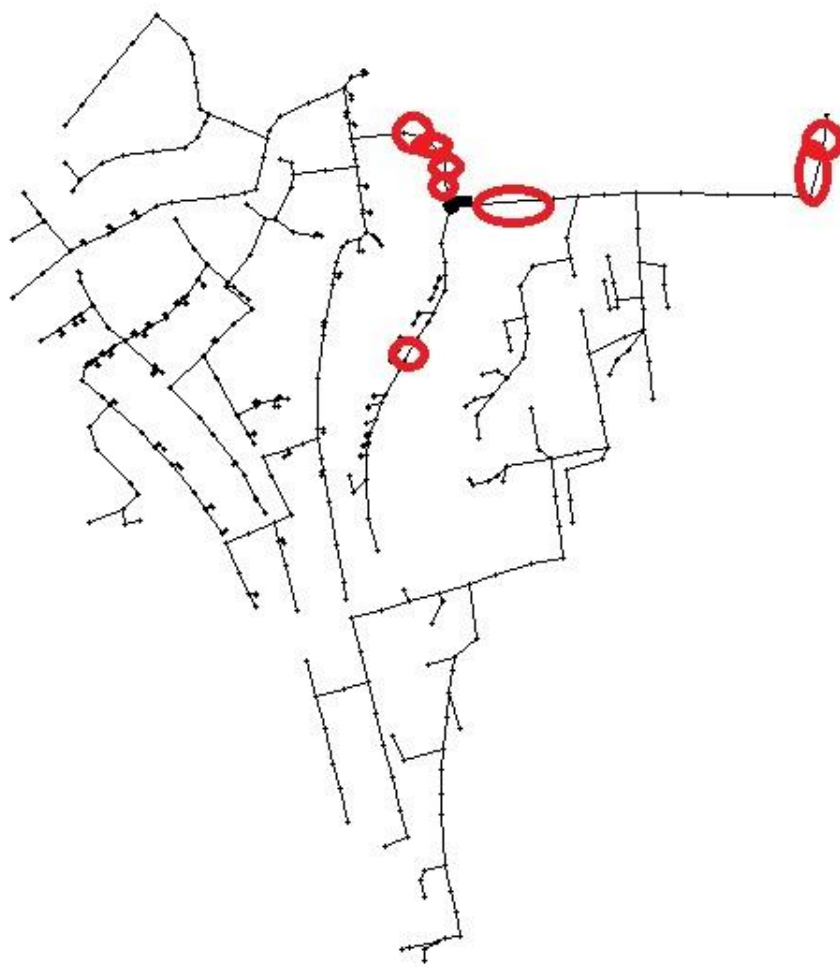


Figura 35 - Troços com ID2 superior a 100%

Destes nove troços, dois têm inclinação superior ao mínimo regulamentar e três apresentam um caudal em secção cheia superior a 3 L/s, ou seja, são troços muito condicionados seja qual for o caudal afluente.

Excetuando os nove troços mencionados, a restante rede apresenta valores aceitáveis de ID2, como se pode verificar na Figura 36.

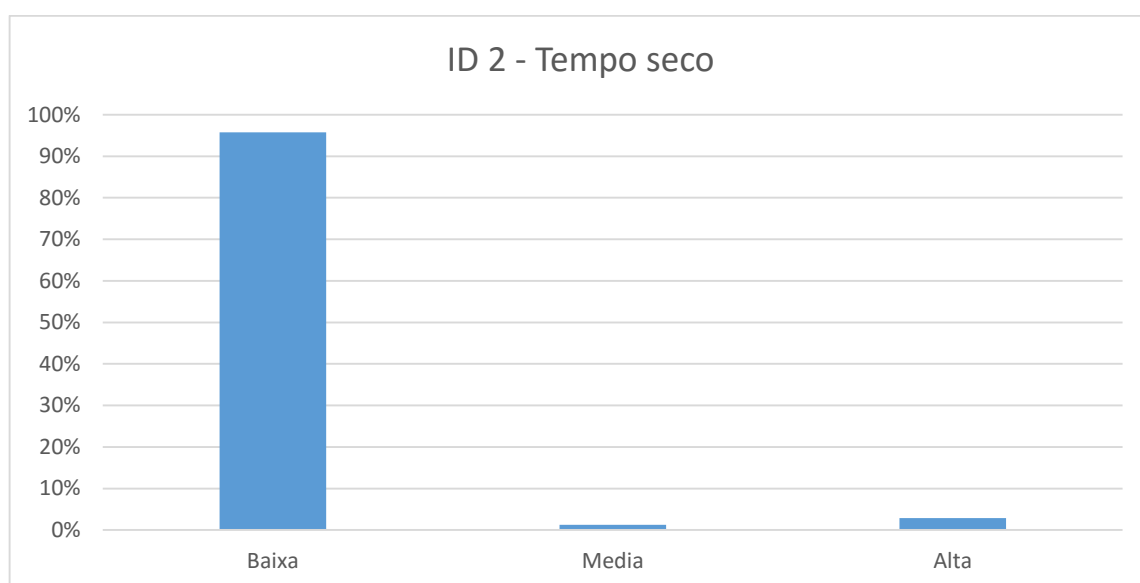


Figura 36 - Percentagem de troços com prioridade baixa, média e alta em ID2 (para tempo seco)

Não obstante, interessa sublinhar que o ID2 se classifica como de prioridade baixa para valores inferiores a 75%, quando na realidade, o DR n.º 23/95 estipula como critério de dimensionamento um h/D máximo de 0,5, para diâmetros inferiores a 500mm, como é o caso de todos os coletores da rede em análise. Ou seja, a situação poderia ser mais crítica caso se ajustasse os valores de referência de ID2 para valores mais semelhantes com os do DR n.º 23/95. Estando cerca de 1,8% da rede em incumprimento em relação a h/D (Quadro 11) é previsível que cerca de 75 troços pudessem apresentar limitações em relação a ID2 caso se ajustassem os valores de referência conforme referido.

ID 3 - relação entre caudal mínimo e caudal médio

Para o ID3, tal como para o ID1, foi efetuada uma avaliação por bacia. Todos os troços apresentam valores reduzidos deste indicador, conforme apresentado no Quadro 19. Nesta situação o nível de prioridade é baixo.

Quadro 19 - Valores mínimo, máximo e média do ID3 para os troços em estudo

%	Mínimo	Média	Máximo
Tempo seco	0,7	1,6	23,9

Salienta-se que os troços 1, 3, 59, 66 e P2 apresentam valor de ID3 superiores a 20%, o que, mais até do que o ID1, poderá constituir indício da presença de infiltração. Na Figura 37 é possível observar na rede em estudo os troços em causa.

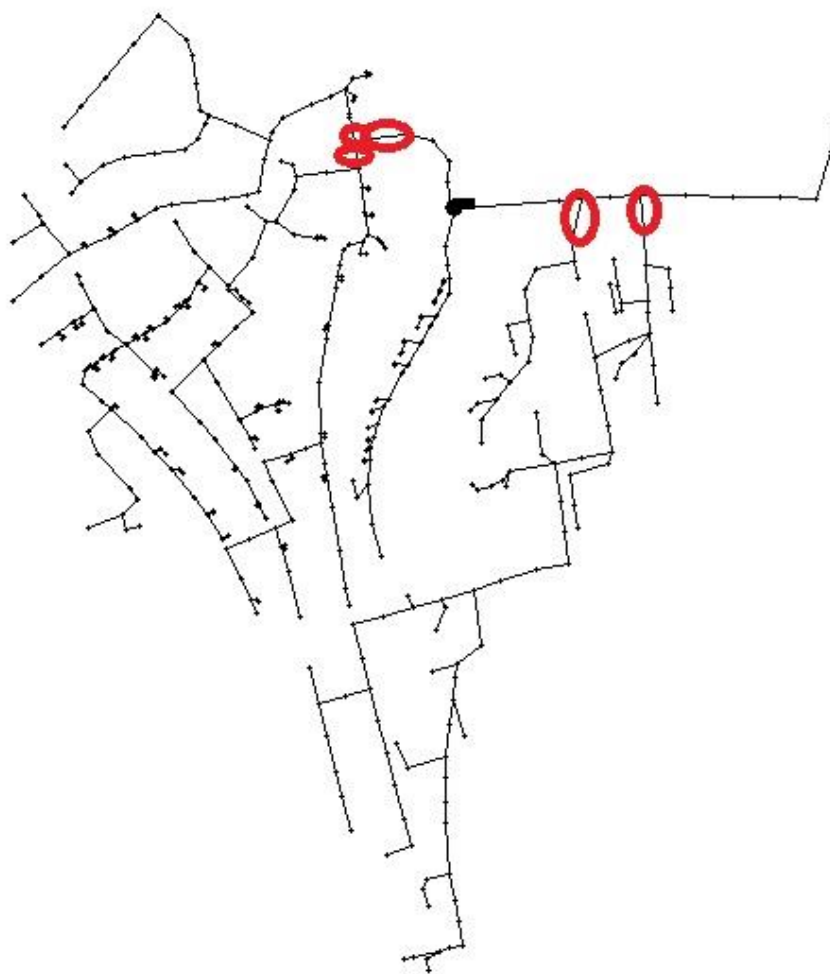


Figura 37 - Troços com ID3 superior a 20%

ID 4 - relação entre caudal máximo e caudal médio

No que respeita ao ID4, foi efetuada uma avaliação por bacia. Este indicador, que determina a relação entre o caudal máximo diário de tempo seco e o caudal médio de tempo seco, pode ser associado ao fator de ponta. Em projeto de redes de águas residuais domésticas, o fator de ponta (fp) é determinado pela Equação 3.

$$fp = 1,5 + \frac{60}{Pop^{0,5}} \quad (3)$$

em que Pop é a população expressa em número de habitantes.

Para o número de habitantes associados a cada bacia, podem calcular-se os fatores de ponta. No Quadro 20 apresentam-se, para cada bacia, a população associada, os fatores de ponta e o cálculo do indicador de desempenho ID4.

Quadro 20 - Valores do fator de ponta e ID4 para cada sub-bacia

Sub-bacia	População (hab)	Fator de ponta	ID 4 (-)
BH1 + BH2	780	3,6	1,58
BH3	234	5,4	15,54
BH4	456	4,3	12,04
BH5	2208	2,8	5,07

Verifica-se que não há uma relação direta entre estes parâmetros, tanto em termos de ordem de grandeza como em termos da proporção do ID4 com a população contributiva, o que sugere, por exemplo, a existência de outros usos da água para além dos usos domésticos nos locais onde ID4 é manifestamente superior ao fator de ponta teórico.

No que respeita exclusivamente aos resultados do ID4, dos troços calculados, um deles (que afeta duas bacias) têm um nível de prioridade baixa e os outros três têm um nível de prioridade alta, onde se pode identificar na Figura 38. Nestes últimos casos, quando não se tratem de troços de cabeceira, poderá ser relevante efetuar uma pesquisa mais detalhadas das contribuições, para despistar eventuais situações de usos de água não conhecidos da entidade gestora.

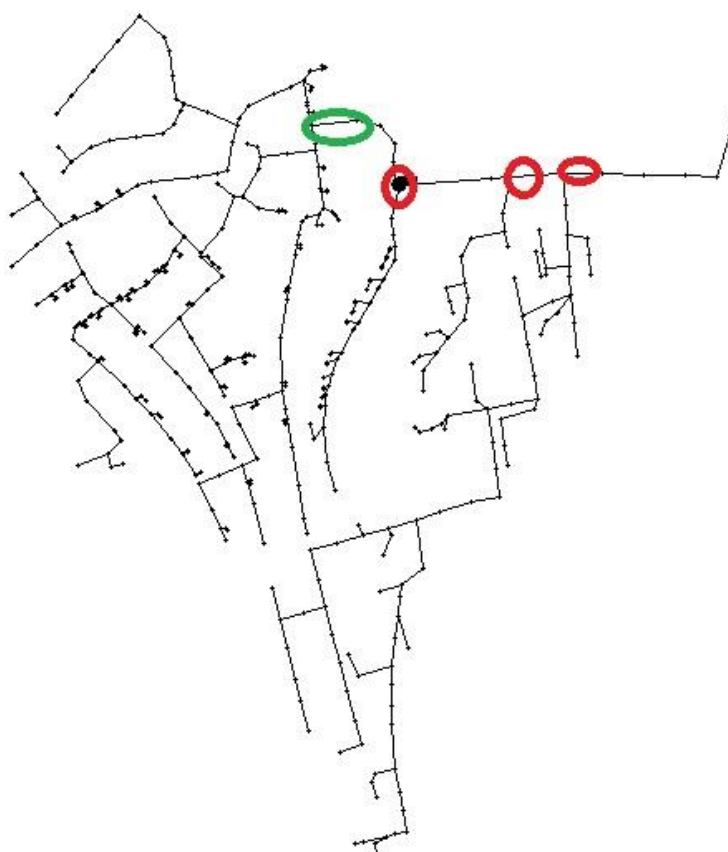


Figura 38 - Troços com prioridade alta e baixa relativamente ao ID4

ID 5 - relação entre caudal mínimo e comprimento do coletor

No ID5, foi efetuada uma avaliação por bacia, em que o comprimento é a extensão de todos os coletores a montante da bacia calculada. Os valores calculados são aceitáveis, tendo um nível de prioridade baixa, uma vez que os resultados obtidos foram inferiores a 40 m³/dia/km.

Todos os troços apresentam valores reduzidos deste indicador, conforme apresentado no Quadro 21. Nesta situação o nível de prioridade é baixo.

Quadro 21 - Valores mínimo, máximo e média dos troços calculados para o ID5

%	Mínimo	Média	Máximo
Tempo seco	1,35	13,2	24,9

Salienta-se que os troços P6 e P8 apresentam valor de ID5 superiores a 20%, o que poderá constituir indício da presença de infiltração.

ID 6 – capacidade da secção cheia em tempo de chuva

No que respeita ao ID6, foi efetuada uma avaliação integral, para os vários cenários de tempo de chuva anteriormente especificados. A maioria da rede apresenta um nível de prioridade baixa em ID6, como é possível observar no Quadro 22. Não obstante, salienta-se que uma prioridade alta neste indicador significa que a rede entrou em carga por ocorrência de precipitação, o que chegou a ocorrer em mais de 10% dos troços (mais de 40 coletores) nos cenários C22 e C23, o que já condiciona o desempenho do sistema.

Quadro 22 – Percentagem dos troços com diferentes níveis de prioridade para o ID6, em cada cenário

%Aimp	Cenário e dia	% Prioridade baixa	% Prioridade média	% Prioridade alta
16%	C11: Dia 1	95,65	1,34	3,01
	C12: Dia 2	95,77	1,30	2,93
	C13: Dia 3	94,50	2,27	3,24
27%	C21: Dia 1	89,49	1,91	8,60
	C22: Dia 2	87,50	2,50	10,00
	C23: Dia 3	84,11	1,87	14,02
38%	C31: Dia 1	95,77	1,30	2,93
	C32: Dia 2	95,78	1,30	2,92
	C33: Dia 3	93,53	2,59	3,88

Na Figura 39 é possível verificar-se na rede em estudo as zonas com percentagem alta do cenário C23 que possui 14,02% de coletores com prioridade alta.

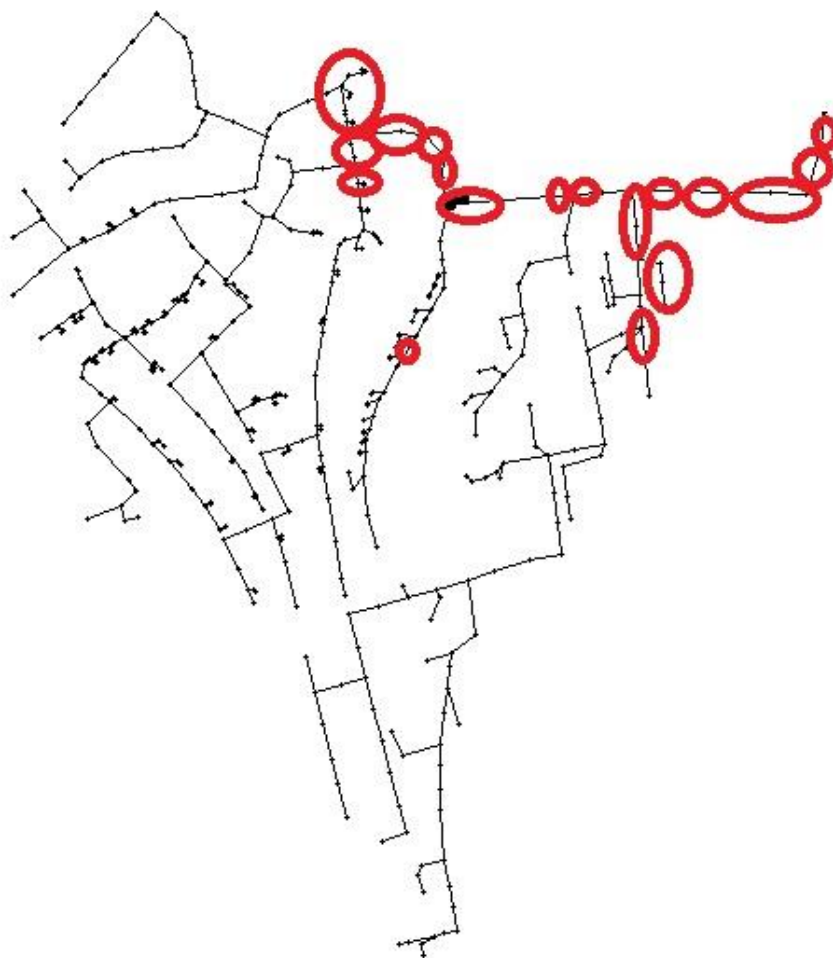


Figura 39 - Zonas com prioridade alta na rede em estudo para o cenário C23

ID 7 - relação de volume de escoamento em tempo de chuva e em tempo seco

No caso do ID7, foi efetuada uma avaliação por bacia, para os vários cenários de tempo de chuva. Apresentam-se no Quadro 23 os valores mínimos, as médias e os máximos, em cada cenário, dos resultados obtidos. Verifica-se que os valores são todos abaixo de 3, o que significa que o nível de prioridade é baixo para todos os troços calculados, ou seja, não há um problema global de excesso de volume afluente nestas bacias, devido a caudal pluvial. Não obstante, não deve negligenciar-se o facto de em todos os cenários haver um volume de escoamento superior ao de tempo seco, o que significa que há contribuição de caudal pluvial efetivo, em todos os eventos, mesmo que não seja ultrapassado o valor de referência que classifica o ID como de prioridade baixa. No entanto, o que esta constatação também significa, é que existe uma proporção reduzida entre o caudal de origem pluvial e o caudal de tempo seco; no caso de haver descarga para o meio recetor, essa descarga apresenta uma diluição inferior a 1:3, o que se pode constituir como um problema do ponto de vista de impacto ambiental e de saúde pública.

Quadro 23 - Valores mínimos, médias e máximos do ID7 em cada cenário

%Aimp	Cenário e dia	Mínimo (-)	Média (-)	Máximo (-)
16%	C11: Dia 1	1,00	1,32	2,01
	C12: Dia 2	1,00	1,50	1,91
	C13: Dia 3	1,00	1,44	2,57
27%	C21: Dia 1	1,00	1,17	1,60
	C22: Dia 2	1,00	1,17	1,37
	C23: Dia 3	1,00	1,13	1,23
38%	C31: Dia 1	1,00	1,31	1,84
	C32: Dia 2	1,00	1,29	1,88
	C33: Dia 3	1,00	1,31	1,63

Síntese

Em suma, após o estudo dos vários indicadores de desempenho, constata-se que dos resultados obtidos de prioridade alta, é repetente a mesma zona em vários indicadores, nomeadamente a zona a norte da rede onde está instalada a bomba e ligam as bacias hidrológicas, tal como demonstrado na Figura 40. As restantes zonas da rede têm resultados aceitáveis no que diz respeito ao estudo dos indicadores.

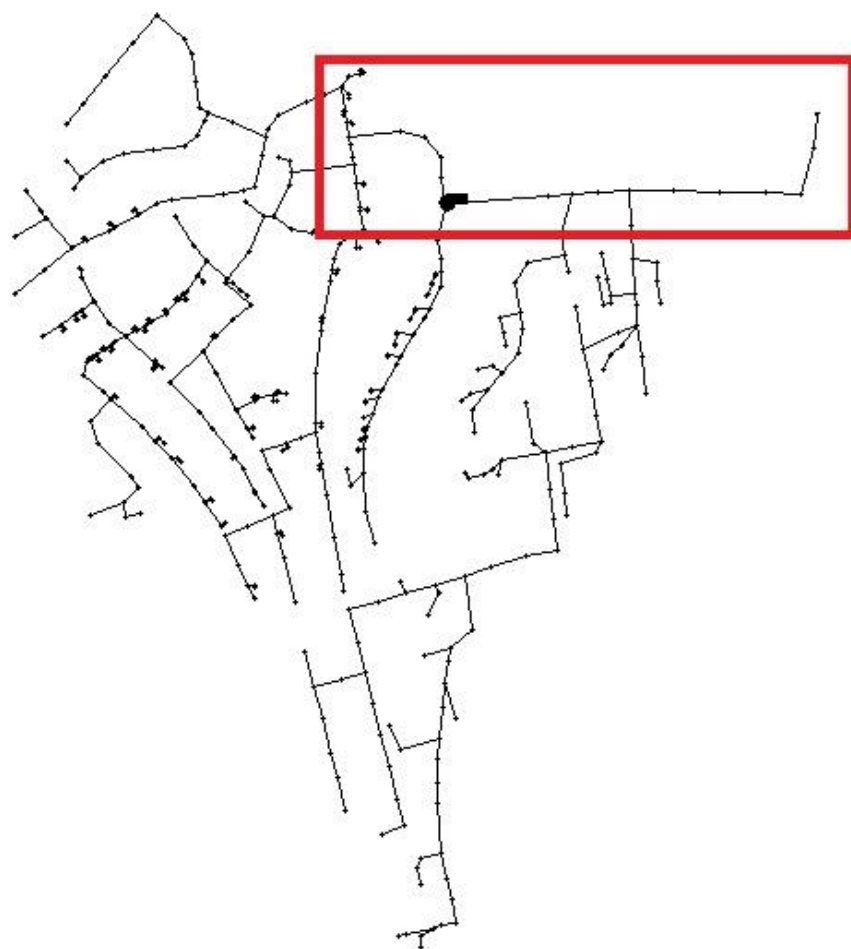


Figura 40 - Zona da rede em estudo com índices de valor alto mais frequente para os vários ID em estudo

6. Síntese e conclusões

O objetivo principal desta dissertação foi o estudo e a identificação de afluências indevidas numa bacia piloto do subsistema Vale do Trabuco - Cidade-Sol, avaliando a sua magnitude e identificando as zonas de atuação prioritária de forma a minimizar o seu impacto. Para tal, recorreu-se à modelação hidráulica e ao cálculo de um conjunto de indicadores de desempenho para a realização do diagnóstico da rede de coletores.

Durante a realização deste trabalho surgiram diversas limitações, nomeadamente com os dados disponíveis. Por exemplo, os dados de caudal medidos no ano de 2014, apresentavam valores com grandes oscilações durante o dia, tendo registos de picos de caudal durante a madrugada; desta forma, optou-se por utilizar preferencialmente os dados de 2015. Importante referir que os dados de caudal apenas estavam disponíveis com intervalos de tempo de 15 em 15 minutos, o que não permite uma análise adequada do efeito de precipitações com variabilidade elevada, podendo ocorrer vários basculamentos apenas num minuto.

No que diz respeito aos dados de cadastro, algumas zonas não estavam disponíveis ou eram questionáveis, pelo que na ausência de confirmação dos mesmos foram admitidos os dados da zona imediatamente a montante (tais como o diâmetro e inclinação de coletores, cotas de soleira de câmaras de visita, entre outros).

Relativamente aos dados de precipitação, apenas estavam disponíveis dados de precipitação de 2014, o que limitou o estudo, uma vez que os dados de caudal mais fiáveis eram relativos a 2015. O facto de o udómetro não estar localizado na bacia em estudo poderá originar, em modelação, resultados diferentes dos reais.

A utilização de um hidrograma padrão típico em vez do hidrograma da bacia piloto poderá ter condicionado a análise de caudais máximos e mínimos em tempo seco.

Os dados disponíveis relativamente à estação elevatória eram insuficientes, tendo sido necessário ajustar os parâmetros indisponíveis num processo de tentativa-e-erro de modo a que o modelo se aproximasse o mais possível da realidade.

Não obstante, foi possível alcançar os resultados previstos no decorrer do trabalho, nomeadamente, no diagnóstico do funcionamento do sistema em tempo seco e em tempo de chuva.

Genericamente, o sistema apenas apresenta pontualmente características menos adequadas. Foram identificados os troços de rede com maiores limitações de natureza construtiva. O requisito de diâmetro mínimo é respeitado na íntegra. No que diz respeito às outras características, uma percentagem mínima de coletores não está de acordo com os limites regulamentares, tendo estes sido identificados e localizados.

No que respeita à modelação em tempo seco e ao cumprimento dos requisitos regulamentares hidráulicos, verificou-se que o troço a montante da estação elevatória apresenta escoamento

em sentido contrário, que a velocidade máxima é integralmente cumprida e que a altura de escoamento relativa máxima é cumprida na maioria da rede.

No que respeita à modelação em tempo de chuva e ao cumprimento dos requisitos regulamentares hidráulicos, verificou-se que há entrada em carga de alguns troços da rede, embora seja uma percentagem mínima e com pequena duração (excetuando com 27% de área contributiva em que se verificam coletores em carga por períodos de tempo de cerca de 1h). Relativamente ao número de câmaras de visita que têm descarga para o exterior, existe uma elevada duração de tempo com descarga em alguns cenários (16% e 38%) e um elevado número de câmaras em descarga, mas durante um curto intervalo de tempo (27%).

Com base nos indicadores de desempenho, foi possível identificar as sub-bacias prioritárias e sustentar a avaliação feita perante o cumprimento dos limites regulamentares. Foram identificados os troços com maior probabilidade de apresentarem problemas de infiltração e entrada de caudal pluvial. Das cinco sub-bacias estudadas, a bacia prioritária é a bacia que drena para o sistema de bombagem, uma vez que inclui um maior número de coletores com desempenho menos favorável.

Como perspetiva de trabalho futuro, seria interessante a Câmara Municipal do Barreiro dispor de medição de caudal em permanência nesta bacia, com intervalos de registo de 1 a 5 min, bem como medição de precipitação. Considera-se que é possível a CMB replicar este estudo a outras bacias e admite-se ainda que a metodologia apresentada possa ser utilizada noutros municípios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PUBLICAÇÕES

Akan, A. O., Yen, B. C. (1999). *Hydraulic Design of Urban Drainage Systems*. MAYS, Hydraulic Design Handbook, McGraw-Hill, United States of America.

Alegre, H. (1992). Instrumentos de apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa e LNEC, ISBN 972- 49-1608-1, 598 pp.

Alegre, H. (1998). "Indicadores de desempenho de sistemas de abastecimento de água - trabalho em curso no âmbito da IWSA." A água como recurso estruturante do desenvolvimento, Lisboa.

Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., Parena, R. (2004). Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água, Lisboa.

Alegre, H. (2007). Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais, Programa de investigação e programa de pós-graduação apresentados para a obtenção do título de "Habilitado para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica", LNEC.

Alegre, H., Matos, R. (2010). *Normas ISO 24500: um instrumento de apoio à gestão de serviços de abastecimento de água e de águas residuais*. Águas e Resíduos (12), 24-35.

Almeida, M. C., Cardoso, M. A. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais. Uma abordagem centrada na reabilitação*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., Gomes, A.J. (2000). *Sistemas aquíferos de Portugal Continental*. Instituto da Água e Centro de Geologia, Lisboa.

Amorim, H., Valente-Neves, M., Matos, J. S. (2007). *Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. 2^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Brito, R., Matos, J. S., Monteiro, A., Ferreira, F., Machado, B. (2009). *A simplified methodology to estimate rainwater contribution to domestic sewers*. Water Asset Management International, dezembro, 2009, páginas 12 a 16, Lisboa.

Brito, R.S., 2012. Monitorização de variáveis hidráulicas e de qualidade da água em drenagem urbana. Tese de doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Cândido, J. R. S. (2013). *Modelação dinâmica de sistemas de drenagem em meio urbano*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Cardoso, M. A. (2007). *Avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal (546 pp.).

CEN (2003). EN 13508-1:2003. Condition of drain and sewer systems outside buildings. General requirements. Comité Européu de Normalização, 25 de novembro de 2003.

CMB (2013). Avaliação global do desempenho do sistema de drenagem doméstico do concelho do Barreiro. Divisão de Projetos e Obras do Departamento de Águas e Resíduos, Câmara Municipal do Barreiro.

Coelho, S. T. (1997). Performance in water distribution - a systems approach, Research Studies Press Ltd., Somerset (UK).

Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, Diário da República nº 194 – SÉRIE-B, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Duarte, B. *Importância de componentes em sistemas de águas residuais e pluviais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, 2014.

ERSAR e LNEC (2014). *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores. Série Guias Técnicos 19*.

Figueiredo, I. B. (2014). *Avaliação do comportamento hidráulico do sistema intercetor de águas residuais e pluviais de Avieiros e Icesa*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia.

Gokhale, S., Graham, J. A. (2004). *A new development in locating leaks in sanitary sewers*. Tunnelling and underground space technology 19 (2004), 85-96.

INE (2011). Censos 2011 – XV recenseamento geral da população e V recenseamento geral da habitação. Instituto Nacional de Estatística.

Marques, J. A. A. S., Sousa, J. J. O. (2011). *Hidráulica Urbana*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Matos, P., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., Schulz, A. (2014). *Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Romero, R., Brito, R.S., Ferreira, F., Matos, J. P., Matos, J.S. (2012). Medições hidráulicas em colectores. Estratégias para implementação de campanhas em tempo de chuva. SEREA - XI Seminário Ibero-Americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem. Coimbra

Rossman, L. A. (2010). *Storm Water Management Model – User's Manual*. National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, E.U.A.

Sanina, P. (2010). "Metodologia para a gestão de infra-estruturas de abastecimento de água com base na avaliação de desempenho: uma abordagem integrada." Dissertação elaborada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST).

SÍTIOS ELETRÓNICOS

<http://www.azores.gov.pt/GRA/srrn-ersara>. Consultado em 06 de agosto de 2016.

<http://www.ersar.pt/website/>. Consultado em 06 de agosto de 2016.

<https://www.nivus.com/en/>. Consultado em 17 de setembro de 2016.

<http://www.contimetra.com/>. Consultado em 17 de setembro de 2016.

<http://www.darrscleaning.com/>. Consultado em 25 de setembro de 2016.

<http://www.blogplastics.com>. Consultado em 25 de setembro de 2016.

Anexo A

Tempo Seco

Dados comparativos de caudal simulado com caudal de 09 de março de 2015

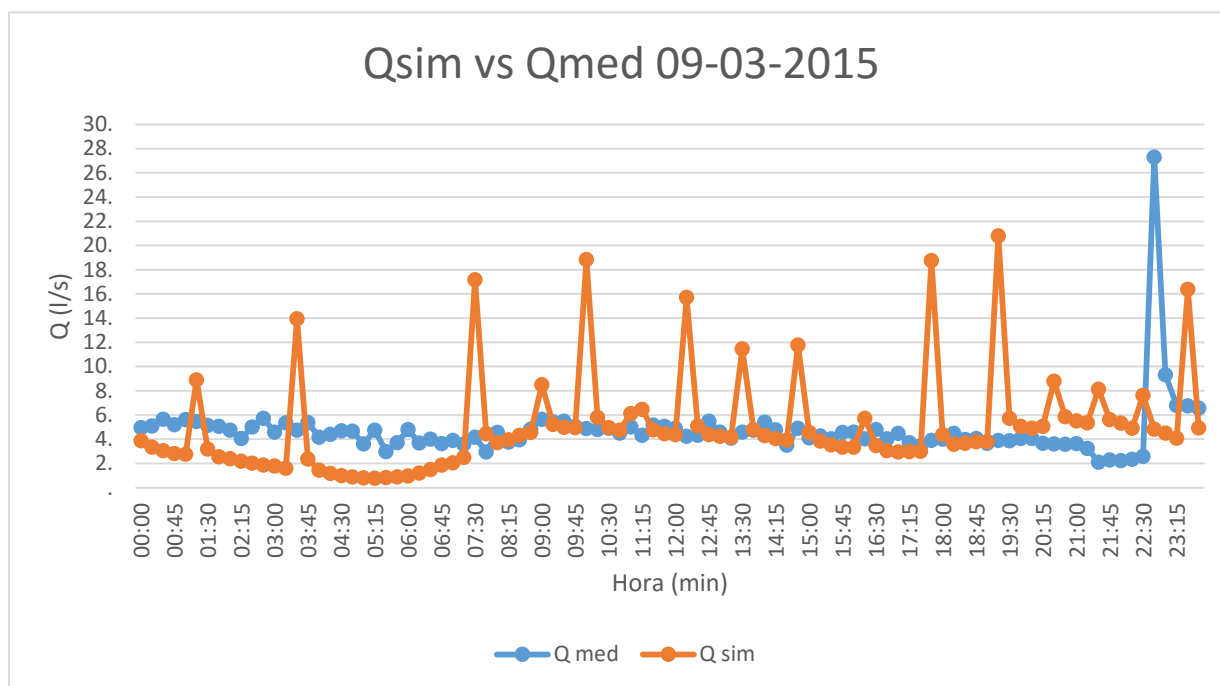


Figura 41 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 09-03-2015 ao longo do dia

Dados comparativos de caudal simulado com caudal de 20 de julho de 2015

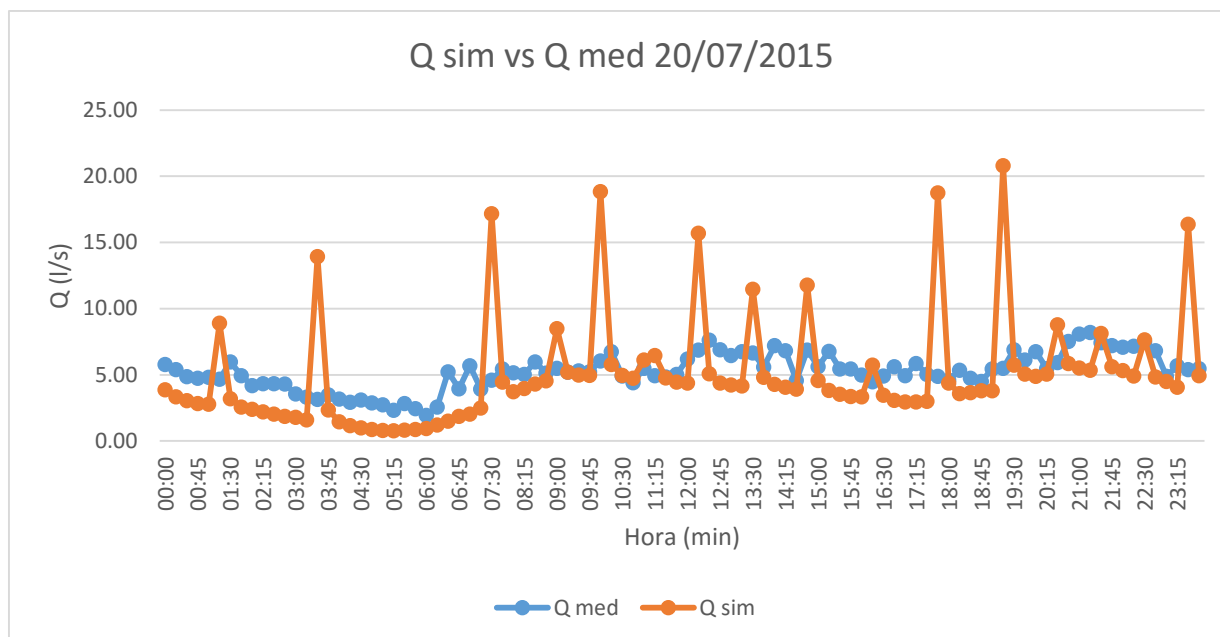


Figura 42 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 20-07-2015 ao longo do dia

Dados comparativos de caudal simulado com caudal de 20 de agosto de 2015

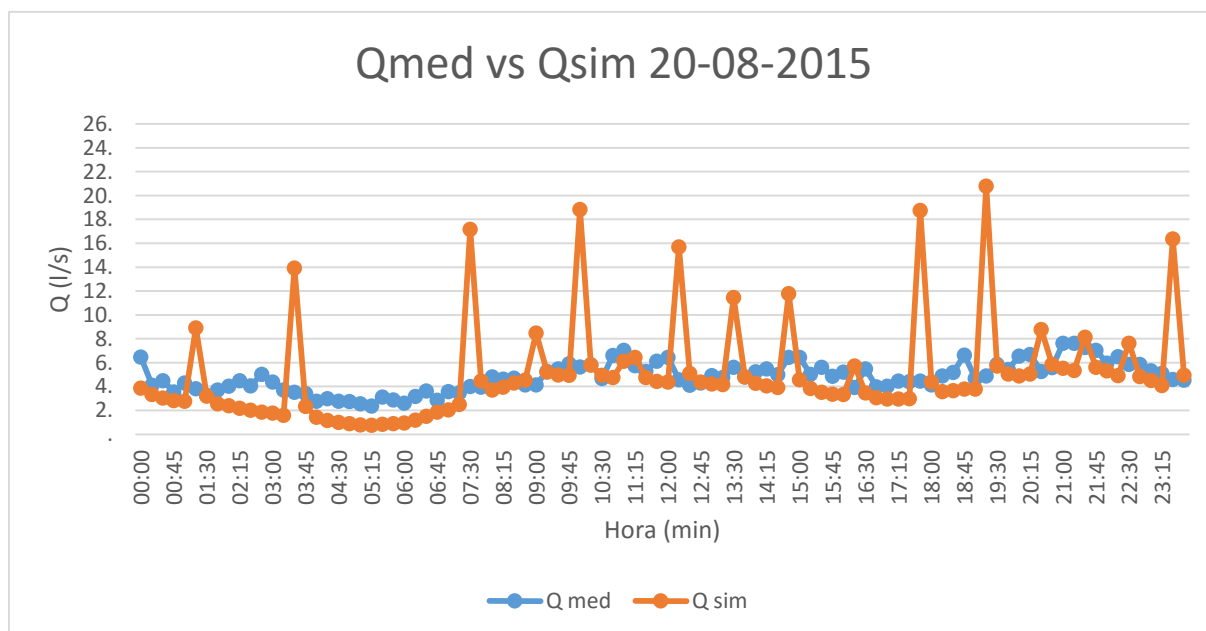


Figura 43 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 20-08-2015 ao longo do dia

Dados comparativos de caudal simulado com caudal de 21 de setembro de 2015

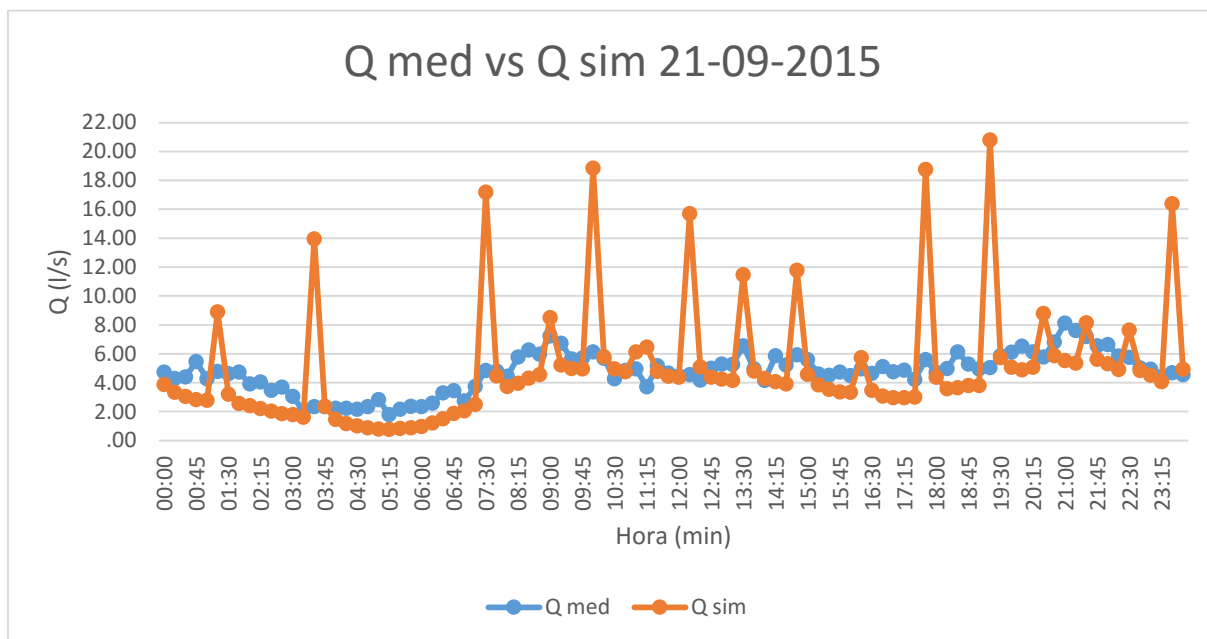


Figura 44 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 21-09-2015 ao longo do dia

Dados comparativos de caudal simulado com caudal de 27 de outubro de 2015

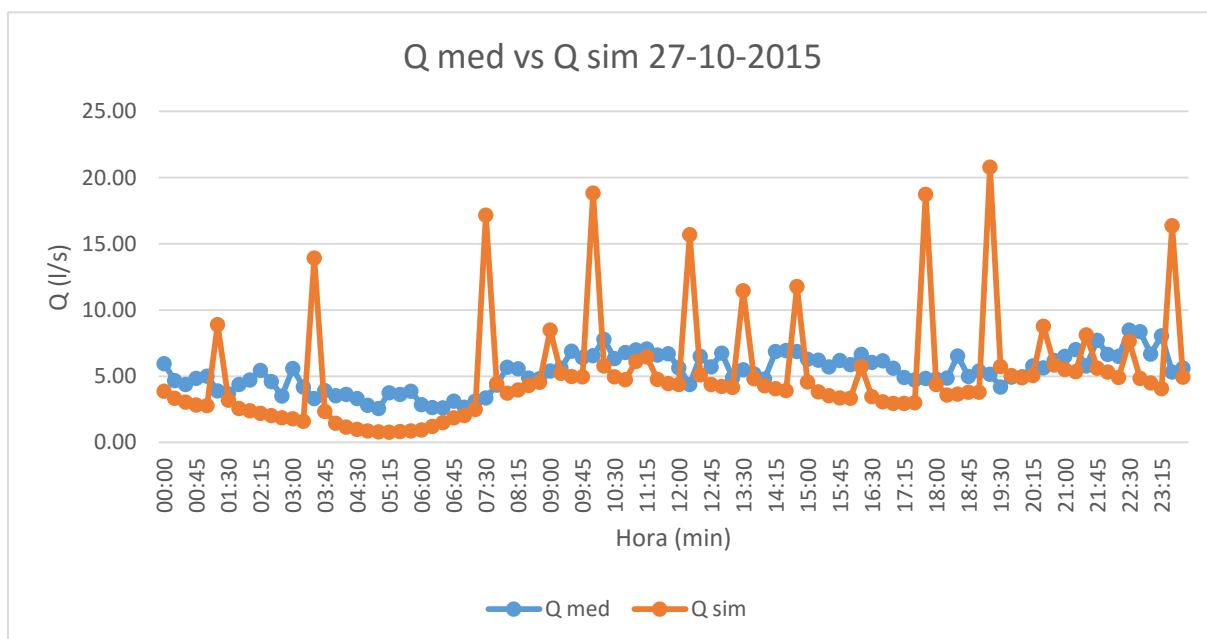


Figura 45 - Comparação de valores de caudal simulado e do dia 27-10-2015 ao longo do dia